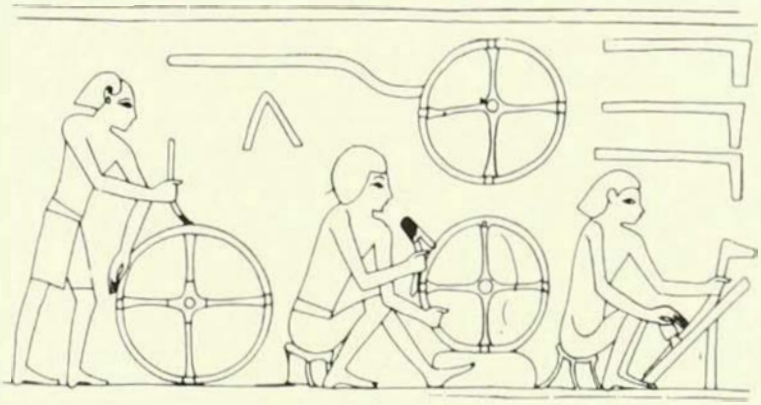
HISTORIA DE LA TECNOLOGIA

Desde la Antigüedad hasta 1750



T. K. DERRY
TREVOR I. WILLIAMS

Siglo veintiuno de españa editores s.a.

HISTORIA DE LA TECNOLOGÍA

Volumen 1

Autores:

T. K .Derry

T.I. Williams

HISTORIA DE LA TECNOLOGIA

SIGLO XXI

Volumen 1

DESDE LA ANTIGÜEDAD HASTA 1750

Primera edición en castellano, octubre de 1977
Decimosexta edición (5.ª de España), abril de 1995

© SIGLO XXI DE ESPAÑA EDITORES, S. A.
Calle Plaza, 5. 28043 Madrid

En coedición con

© SIGLO XXI EDITORES, S. A.
Avda. Cerro del Agua, 248. 04310 México, D. F.

Primera edición en inglés, 1960

© OXFORD UNIVERSITY PRESS

Título original: *A short history of technology. From the earliest times to A. D. 1900*

Esta obra fue impresa por primera vez por The Clarendon Press Oxford en 1960

DERECHOS RESERVADOS CONFORME A LA LEY

Impreso y hecho en España
Printed and made in Spain

ISBN: 84-323-0282-1 (obra completa)
ISBN: 84-323-0279-1 (volumen 1)
Depósito legal: M. 12.333-1995

Impreso en Closas-Orcoyen, S. L. Polígono Igarsa
Paracuellos de Jarama (Madrid)

HISTORIA DE LA TECNOLOGIA

Siglo veintiuno

Volumen 1

DESDE LA ANTIGÜEDAD HASTA 1750

por

T. K. DERRY
y TREVOR I. WILLIAMS

México
España

historia de la tecnología

Siglo XXI

TRADUCTORES

Carlos Caranci
José Palao Taboada
Mari-Carmen Ruiz de Elvira e Hidalgo
Juan Alfonso Ruiz de Elvira y Prieto
Magdalena Ruiz de Elvira y Zubizarreta
Mari-Carmen Ruiz de Elvira y Zubizarreta
Carmen Sáez Díaz

DISEÑO DE LA CUBIERTA

Santiago Monforte

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN
Facultad de Filosofía Humanidades y Artes
BIBLIOTECA DR. JUAN JOSE NISSEN
Nº 73652

NOTA EDITORIAL

El lector encontrará al final del tercer volumen de esta obra unos cuadros cronológicos, una bibliografía escogida, el origen de las ilustraciones seleccionadas, un índice temático y un índice de nombres, correspondientes a los tres primeros volúmenes de esta colección.

Indice

PROLOGO 1

PRIMERA PARTE

DESDE LA ANTIGÜEDAD HASTA 1750

1. PANORAMA HISTORICO GENERAL 9

El hombre antes de la civilización, 9.—Las civilizaciones de Egipto y Mesopotamia, 13.—El surgimiento de Grecia y de Roma, 23.—El Imperio romano, 30.—La Alta Edad Media, 40.—La Baja Edad Media, 50.—El Renacimiento, 57.—El surgimiento del mundo moderno, 61.

2. LA PRODUCCION DE ALIMENTOS 68

La domesticación de los animales, 68.—Orígenes de la agricultura, 73.—El regadío, 78.—Desarrollo de la agricultura en Europa, 83.—La preparación de la comida y de la bebida, 88.—La pesca, 94.—Consecuencias de los descubrimientos geográficos, 99.—El progreso de la agricultura (entre 1500 y 1750), 104.—Los terrenos ganados al mar, 108.

3. PRODUCCION PARA FINES DOMESTICOS 111

La alfarería de los primeros tiempos, 111.—Los primeros textiles, 116.—Marfil, madera, cuero, vidrio, 121.—La contribución del mundo griego y romano, 128.—La Edad Media, 135.—Los textiles medievales y el trabajo del cuero, 142.—Ebanistería, 151.—Textiles y vidrio, 1500-1750, 153.

4. EXTRACCION Y LABRADO DE LOS METALES ... 167

El uso primitivo de los metales: la Edad del Bronce, 167.—La primera Edad del Hierro en Grecia y Roma, 176.—El labrado de metales en la Edad Media, 188.—La extensión del uso de los metales, 1500-1750, 204.—Ulteriores avances en la industria del hierro, 209.—El armamento, 215.—La fabricación de instrumentos de medida, 223.

5. LA CONSTRUCCION 229

Los antiguos Imperios, 229.—La construcción en Grecia y Roma, 238.—La Edad Media, 251.—La construcción desde el Renacimiento hasta el siglo XVIII, 261.

6. EL TRANSPORTE 275

Los comienzos: la rueda y el caballo, 275.—El período greco-romano, 282.—El transporte en la Edad Media, 287.—El período de los grandes descubrimientos geográficos, 293.—Evolución desde 1600 a 1750, 300.

7. COMUNICACION Y PROCEDIMIENTOS DE REGISTRO 309

El lenguaje y los procedimientos de registro, 309.—La medición, 316.—La cartografía, 331.—El papel, 335.—Los orígenes de la imprenta, 339.—Evolución, 1500-1750, 347.

8. FUENTES PRIMITIVAS DE ENERGIA 351

Energía humana y animal, 351.—La rueda hidráulica, 361.—El molino de viento, 367.

9. LOS ORIGENES DE LA INDUSTRIA QUIMICA 374

La industria química en los tiempos antiguos, 376.—La química y la industria textil, 382.—La fabricación de la pólvora, 387.—Los alquimistas y los yatroquímicos, 391.—El comienzo de la química moderna, 392.

PROLOGO

Este libro es la consecuencia de una obra mucho más amplia, una *Historia de la tecnología* en cinco volúmenes, costeada por la Imperial Chemical Industries Limited y publicada por Clarendon Press, de Oxford. Cuando se aprobó en 1949 la compilación de esta extensa obra se contaba con que a su debido tiempo llegaría a existir demanda suficiente para un libro más pequeño que abarcara el mismo campo. Esta expectativa ha sido cumplida: muchos críticos de los primeros volúmenes solicitaron explícitamente con ahínco la publicación de una versión abreviada que diera a conocer la materia a un número más amplio de lectores. En vista de ello, la ICI acordó proporcionar la nueva dotación económica necesaria y Clarendon Press se encargó de la publicación: el presente libro es el resultado de todo ello.

Al planear esta obra se ha pensado mucho en la mejor forma de hacer frente a las necesidades tanto del lector común como de los estudiantes interesados en los aspectos técnicos. Desde el principio era evidente que cualquier intento de resumir simplemente los cinco volúmenes de la *Historia* era por completo impracticable, no sólo a causa de la enorme condensación de materias que se necesitaría hacer, sino también porque el plan de la obra original no se prestaba a un tratamiento de este género. Se necesitaba, evidentemente, un libro distinto, y aunque ello hizo mucho más ardua la empresa, proporcionó una feliz oportunidad de enfocar el tema en una nueva forma. Con esta libertad de acción, se decidió intentar la realización de un libro en el que la historia del desarrollo tecnológico fuera estrechamente relacionada, en cada época, con su perspecti-

va histórica. Este libro pretende ser tanto una historia tecnológica como una historia de la tecnología, y al seguir este derrotero creemos estar en la línea de una importante tendencia moderna. A pesar de las obras de Lecky y Buckle y de interludios tan brillantes como el tercer capítulo de Macaulay —por citar sólo ejemplos ingleses—, los historiadores del siglo XIX se limitaron por lo general a la historia política y constitucional. En el siglo XX reapareció una interpretación más liberal del sentido de la historia, y los factores sociales y económicos comenzaron a recibir la debida atención por parte del historiógrafo. Sin embargo, la importancia de los factores tecnológicos está todavía muy poco reconocida, y es de esperar que este libro ayude a llamar más la atención hacia ellos.

La decisión de escribir un libro de otro tipo otorga nuevas ventajas. Aunque la gama de materias tecnológicas examinadas caen naturalmente, en su mayor parte, dentro de los límites de la obra principal, se han hecho algunas adiciones interesantes y se han consultado muchas fuentes nuevas; por las razones dadas en el párrafo anterior, se ha introducido una gran cantidad de material histórico enteramente nuevo. Al mismo tiempo que se han tomado de la obra primitiva muchas de las ilustraciones, se ha aprovechado también la oportunidad para introducir aquí muchas nuevas. A la vez, debemos dejar constancia de nuestra enorme deuda de gratitud hacia la obra original, y hacia aquellos que tomaron parte en ella, por su autorizada visión general de la materia en su conjunto y por ser una fuente de información de los hechos. El presente libro ha aprovechado de muchas maneras la experiencia obtenida por uno de nosotros (T. I. W.) como responsable de la edición de los últimos volúmenes de la *Historia de la tecnología* original; es para nosotros un gran placer recordar los años de estimulante colaboración en el proyecto con el fallecido doctor Charles Singer —que lo inició—, el también fallecido doctor E. J. Holm-

yard y el doctor A. R. Hall. En la obra original, y a través de sus extensas listas de referencias y bibliografías, pueden encontrar mucha información adicional aquellos que deseen profundizar más en aspectos particulares de la historia de la tecnología.

La descripción, aunque breve, de la forma en que está ordenado el texto quizá pueda ayudar al lector a usar este libro con el mayor provecho. Existen evidentes dificultades en la ordenación de las características sobresalientes de una materia tan vasta a lo largo del período total de civilización, sin limitación a un solo país o pueblo. Para nuestro objetivo de proporcionar una descripción amena y coordinada de la evolución de la industria moderna no es apropiada una ordenación meramente cronológica, geográfica o tecnológica. Forzosamente hemos tenido que intentar hallar una fórmula de compromiso. Cronológicamente, el texto está dividido en dos partes: la primera de ellas abarca hasta 1750 —el comienzo de la revolución industrial de Inglaterra— y la segunda continúa la exposición hasta 1900. En la creencia de que la mayoría de nuestros lectores se interesan más por los acontecimientos que tuvieron lugar durante y a partir de la revolución industrial, hemos concedido un mayor espacio a este último período. La decisión de terminar nuestra historia en 1900 estuvo inspirada en dos consideraciones principales: la primera, que la verdadera significación histórica de los descubrimientos más recientes es difícil de determinar, y la segunda, que la gran complejidad técnica de la moderna industria científica hace virtualmente imposible contar adecuadamente su historia en los términos no técnicos del presente texto.

Para algunos, la división que hemos adoptado puede parecer artificial, porque actualmente existe una tendencia a desestimar la importancia, o incluso la realidad, de lo que durante mucho tiempo se ha llamado la revolución industrial. Si bien es cierto que aquellos cambios que se extienden a lo largo de

dos o tres generaciones difícilmente pueden ser llamados revolucionarios —en especial cuando forman parte de un proceso ininterrumpido antes y después de dicho período—, sin embargo es indiscutible que durante el período 1750-1830 el progreso tecnológico mostró una marcada y sostenida tendencia ascendente que resultó de fundamental importancia para la civilización moderna.

Geográficamente, nuestra historia está en gran parte limitada al antiguo Oriente Próximo, a la Europa occidental y a Norteamérica. Por lo que respecta al Oriente Lejano, esta limitación es un reflejo de la carencia de fuentes apropiadas para los eruditos occidentales: *Science and civilization in China,* del doctor Joseph Needham, podría en gran medida remediar esta deficiencia, pero faltan varios años para que este libro se termine. Nuestra deuda con el Oriente Lejano puede muy bien revelarse mucho mayor de lo que en general se supone ahora. También la Europa oriental figura relativamente poco. Aunque la carencia de fuentes fácilmente accesibles constituye también un problema en este área, podemos aducir como consideración adicional que, durante el período de nuestro estudio principal, los cambios fueron generalmente paralelos y consecutivos de los de la Europa occidental.

La elección de lo que hay que incluir en un libro de este tipo y de lo que hay que omitir tiene que ser necesariamente subjetiva: esperamos que nuestra elección sea estimada como una aceptable combinación de aquellas ramas de la tecnología que han cambiado decisivamente el curso de la historia, con los más sencillos oficios del mayor interés humano pero de escasas consecuencias. La bibliografía seleccionada intenta ayudar al lector a proseguir su estudio siguiendo las directrices de su propia elección. Nuestra intención subyacente, como hemos manifestado, es la de relacionar la historia de la tecnología con la historia de su época: por ello, cada sección está precedida por una introducción histórica y el

libro concluye con una serie de cuadros destinados a mostrar la interrelación de los acontecimientos mencionados en el texto.

Nos consideramos realmente afortunados por la ayuda que hemos recibido para este trabajo, y nos alegra tener ahora la oportunidad de dar las gracias a quienes nos han ayudado. La carencia de síntesis de esta índole nos ha impedido contar con elementos que nos sirvieran de guía en nuestra pretensión de urdir un texto aceptable tanto para el historiador y el tecnólogo como para el lector común. Por ello, nos consideramos muy afortunados por el hecho de que el profesor R. R. Betts, *Masaryk professor* de Historia de Europa central en la Universidad de Londres, haya dado una lectura completa al texto antes de que entrara en prensa. Sus amplios conocimientos nos permitieron corregir numerosos puntos de detalle e importancia históricos; al mismo tiempo atrajo nuestra atención hacia pasajes donde nuestra descripción de materias técnicas parecía que había de presentar dificultades para los lectores no técnicos. De los errores y oscuridades de este tipo que permanezcan en el texto sólo somos nosotros, naturalmente, los responsables.

Durante nuestra búsqueda de material para el libro visitamos —entre otras colecciones relacionadas con la historia de la tecnología— el Museo de Historia de la Ciencia y la Tecnología de Estocolmo, y queremos dejar consignado nuestro agradecimiento al director del mismo, doctor Torsten K. W. Althin, tanto por mostrarnos su espléndida colección como por las estimulantes discusiones que con él mantuvimos sobre varios problemas relacionados con nuestro trabajo. Querríamos también agradecer la ayuda y los consejos del señor A. Stowers, del Museo de Ciencias de Londres, para determinar el diseño de la primitiva máquina de vapor de Watt.

Existen grandes dificultades para la descripción clara y breve de procedimientos y máquinas con las que no está familiarizado el lector común. Lo mejor

qué pudimos hacer para clarificar nuestras propias ideas fue visitar unos cuantos talleres y fábricas a fin de observar los ejemplos modernos de algunos oficios tradicionales tales como los de alfarero, herrero, calderero, hilandero, minero y vidriero. A este respecto estamos en deuda particularmente con la British Railways (Derby Locomotive Works); la Mintons Limited, de Stoke-on-Trent; la Combined English Mills (Spinners) Limited, de Manchester; la Salt Division de la Imperial Chemical Industries Limited, y la Pilkington Brothers Limited, de St. Helens.

La mayor parte de los dibujos que se hicieron para la *Historia de la tecnología* fueron realizados por el señor D. E. Woodall. En vista de ello, nos alegró mucho que también pudiera encargarse de todos los nuevos dibujos necesarios para la presente obra; los tres mapas del capítulo 1 fueron dibujados por el señor T. Hilditch.

Estamos también especialmente agradecidos a la señorita M. Reeve, que, ayudada por la señorita Y. Pyke, ha sido la responsable del riguroso trabajo administrativo relacionado con la preparación del texto y las ilustraciones, y con la supervisión de la edición. El libro debe mucho a su cuidado y paciencia.

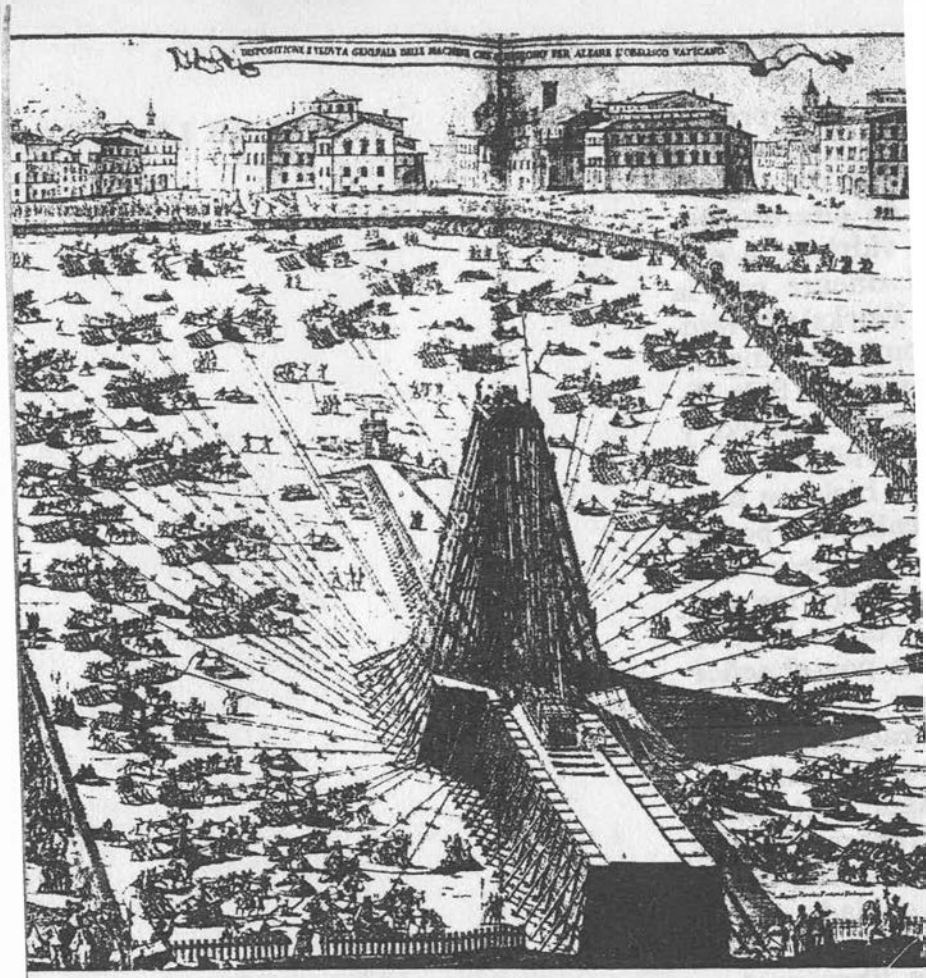
Como ya hemos hecho constar, este libro no hubiera podido realizarse sin la dotación financiera de la Imperial Chemical Industries Limited. Debemos agradecer en particular el apoyo activo y el estímulo que el proyecto recibió de Sir Walter Worboys, uno de los directores de la compañía, hasta su jubilación en octubre de 1959.

T. K. DERRY
TREVOR I. WILLIAMS

Julio de 1960.

PRIMERA PARTE

DESDE LA ANTIGÜEDAD HASTA 1750



Traslado de un obelisco de 327 toneladas en Roma, año 1586, por medio de energía humana masiva y diestramente organizada. El método difiere poco del utilizado para empresas similares en el Egipto de la primera dinastía (fig. 111), más de tres milenios antes; e incluso en el siglo XIX de nuestra era los grandes proyectos de ingeniería civil todavía contaban con la energía humana masiva, utilizando sólo un equipo mecánico muy elemental (fig. 223).

1. PANORAMA HISTORICO GENERAL

EL HOMBRE ANTES DE LA CIVILIZACION

La tecnología, por el hecho de englobar un conjunto extraordinariamente variado de conocimientos y hallazgos por medio de los cuales el hombre ha ido dominando progresivamente su medio natural, posee una historia cuyo campo tiene amplias ramificaciones de límites mal definidos. El estudio se complica por el hecho de que, hasta llegar a los tiempos modernos, la historia de la tecnología no goza de un relieve análogo al de la historia del desarrollo político o intelectual. Al limitar nuestra atención a la evolución de la tecnología occidental, rehuimos dificultades tales como las que se refieren, por ejemplo, al gran papel desempeñado por la inventiva del Oriente Lejano en los primeros tiempos: ésta es una materia que requeriría, en realidad, un amplio espacio en toda exposición global equilibrada, pero que sólo hoy comienza a ser debidamente investigada en Occidente. Aun dentro de este campo más restringido, la divergencia entre la historia tecnológica y la historia convencional es tal que se hace necesario un esbozo histórico preliminar con el fin de situar en un marco cronológico los pueblos y períodos de mayor significación para nuestro fin y facilitar así la observación de la evolución de cada rama principal de la tecnología desde una perspectiva apropiada. El presente capítulo, y el capítulo 10, por lo tanto, presentarán al lector algunos hechos de la historia general que pueden ser de interés para nuestro estudio.

Por ello deberemos recorrer brevísimamente un gigantesco lapso de tiempo que corresponde al menos a los diecinueve veinteavos de la historia del

hombre. Los hombres de la Edad de Piedra antigua (o Paleolítico), pocos y dispersos, no alcanzaron un desarrollo tal que les permitiera conquistar su entorno; las cuatro glaciaciones, que marcaron su historia, produjeron en todo caso cambios en el entorno que afectaron a vastas regiones difícilmente conquistables incluso por la tecnología del hombre del siglo XX. Como recolectores debieron haber estudiado confusamente los fenómenos del clima, del suelo y de las estaciones, que determinaban si sus estómagos iban a estar llenos o vacíos. Más susceptibles al frío que muchos animales, improvisaron refugios, frecuentaron cuevas e hicieron uso del fuego. Dominarlo, limitando el combustible del que veían alimentarse la llama; difundirlo por medio de teas improvisadas o de corrientes de aire; apagarlo con agua, fueron artes aprendidas de la naturaleza. Incluso encender fuego por medio de la fricción de dos maderas quizá haya derivado de la observación del efecto del roce de dos ramas secas entre sí a causa del viento.

Entre sus muchos usos, el fuego sirvió para endurecer la madera empleada para fabricar armas o herramientas. Como carecían de los fuertes caninos de los verdaderos carnívoros, los hombres tuvieron que aprender, desde muy pronto, a manejar hábilmente palos y piedras para desgarrar los animales muertos hallados al rastrear, y más tarde para cazar. De hallar y recoger utensilios ya hechos de forma natural pasaron gradualmente a fabricarlos empleando un martillo de piedra para desmenuzar y lascar el sílex y otras piedras de grano fino para conseguir un filo cortante o la forma deseada. Tras muchas generaciones de imitación cuidadosa y mejoras esporádicas surgió un antecedente reconocible del hacha de piedra, que —ahora de metal— circula aún por los bosques. El hacha de mano, fabricada con arenisca, cuarzo o lava, así como con sílex, fue utilizada por el género humano al menos durante mil siglos y su uso se extendió por casi un quinto de la superficie del globo. Estos objetos nos son bien conocidos gracias

a su durabilidad; pero aquéllos, hechos con materiales menos duraderos, tales como la madera o el asta, aunque a veces se han conservado en arena, turba o incluso en hielo, sólo son conocidos generalmente de manera indirecta. Con el desarrollo del propulsor y el arco, el hombre tecnológico comenzó a ser el vencedor en la larga lucha por la supremacía humana, oponiendo su destreza a la fuerza animal. Por otro lado, sus logros estéticos, como pone de manifiesto la extraordinaria calidad de las pinturas y grabados (fig. 1) que el hombre del Paleolítico dejó tras de sí en cuevas y en remotas superficies rocosas, no sólo sirven para evocar ante nuestros ojos un pasado lejano, sino que nos recuerdan de modo desafiante que la irregularidad del desarrollo tecnológico es paralela a la evolución histórica del hombre.

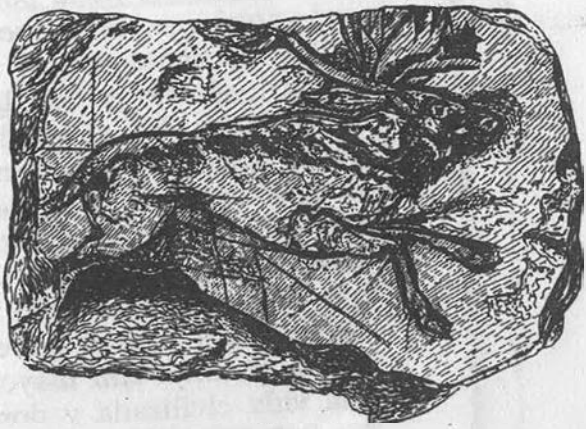


Fig. 1. Reno al galope. Grabado de la Edad de Piedra.

La Edad de Piedra media (o Mesolítico) es el nombre que recibe el período de transición entre el fin de la última glaciación y el comienzo del período de asentamiento y cultivo. Debería denominarse más bien una etapa, ya que su cronología varía según la mayor o menor proximidad del casquete polar en retroceso. En Europa puede decirse que abarca del

noveno u octavo milenio hasta cerca del cuarto a.C.; fue testigo de la elevación del nivel del mar, que separó a Suecia de Dinamarca y a Gran Bretaña de Francia, y del crecimiento de los bosques septentrionales. Aún más importante por sus efectos sobre el hábitat humano fue el aumento de las zonas desérticas en el Oriente Próximo como resultado de los pronunciados cambios de clima.

El hombre del Neolítico emerge del salvajismo, una vez resuelto el problema básico de su alimentación, gracias a su creciente, aunque no total, confianza en el pastoreo o en el laboreo, o en una combinación de ambos. Sabe pulimentar y esmerilar e incluso taladrar utensilios de piedra dura; sólo necesita llegar a conocer el trabajo del metal para llevar a cabo una conquista mucho más efectiva de su entorno físico. El resultado inmediato fue, al parecer, un rápido crecimiento de la población, sin paralelo con épocas anteriores: es lo que se denomina revolución neolítica. La consecuencia a largo plazo, que coincidió aproximadamente con las primeras utilizaciones de los metales, fue el surgimiento de la civilización tal como nosotros la conocemos. En su aspecto material, la historia de la civilización es la historia de la tecnología, por lo que el interés básico del período neolítico, incluso para los europeos occidentales, se centra en las regiones del sudeste de Europa, donde este estadio parece haberse alcanzado más pronto, donde condujo con mayor rapidez al surgimiento de una vida civilizada y donde las condiciones climáticas han permitido conservar los vestigios más claros de un pasado remoto.

Probablemente el pastoreo apareció en los valles de los grandes ríos del este, donde se concentraría la vida animal a medida que el desierto iba avanzando. Eso sucedió en los valles inferiores del Nilo, del Tigris y del Eufrates, y del Indo. Asimismo, el rico limo de sus deltas proporcionó un medio ideal para descubrir el hecho de que las plantas de crecimiento espontáneo, tan laboriosamente buscadas, podían ser

reemplazadas por cosechas de vegetales plantados por el propio hombre. No hay duda de que el pastoreo fue lo primero que apareció, pues podía ser practicado por los nómadas. La agricultura, aun cuando se eligiera un nuevo lugar en cada estación, implicaba por lo menos un asentamiento temporal, y precisamente el hecho de volverse sedentario hizo al hombre consciente de nuevas necesidades, que podían ser satisfechas gracias a la nueva fuente de alimentos. Las necesidades del estómago no acaparaban ya todo el tiempo y todas las energías, porque el agricultor, a diferencia del cazador, puede disponer de temporadas de relativo ocio y construir viviendas permanentes. La sociedad podía hallar un lugar para la artesanía y el comercio.

Esta cultura neolítica se difundió en lentas etapas desde las regiones orientales hacia Europa. Al norte del Mediterráneo halló una región de clima más áspero, donde los progresos habrían sido incluso más lentos de lo que fueron si no hubiese sido por la práctica de la agricultura extensiva, que requería la elección cada pocos años de nuevos lugares para el laboreo, los cuales, por su misma prodigalidad, fomentaron la penetración gradual en nuevas regiones. De ahí que los milenios sobre los que carecemos de una cronología adecuada de la Europa neolítica duraran, en el caso de Gran Bretaña, hasta el 2000 a.C. Entre sus escasos restos figuran numerosos yacimientos de sílex y tumbas megalíticas, las cuales por su aureola de misterio y sus orígenes inciertos nos sugieren, con una visión retrospectiva, una oscuridad que contrasta fuertemente con el esplendor de la civilización que estaba surgiendo entonces en el este.

LAS CIVILIZACIONES DE EGIPTO Y MESOPOTAMIA

Hacia mediados del cuarto milenio a.C. la sociedad neolítica desarrolla, en los grandes valles de los ríos orientales, las primeras fcrmas de civilización. Si

consideramos la invención de la escritura como signo del fin de la barbarie, podemos afirmar que el hombre civilizado hace su primera aparición en Mesopotamia, si bien el más antiguo estado civilizado de alguna importancia y con una evolución continuada fue el que apareció poco después en el valle del Nilo, donde no era difícil mantener alejados a los bárbaros intrusos; el curso de los acontecimientos en el valle del Indo es todavía poco conocido.

La existencia de alfarería y tejidos en el período neolítico presupone un cierto grado de especialización. Pero el artesano especialista sólo puede mantenerse si los productores de alimentos están organizados de tal forma que puedan proveer con regularidad un excedente, lo que no pudo conseguirse en cantidades significativas fuera de las riberas de los grandes ríos, donde las cosechas eran más abundantes y más fácil la acumulación de un excedente. Las inundaciones naturales enseñaron al hombre las ventajas de la irrigación; el obstáculo principal a su práctica sistemática y ordenada era la natural dejadez e indiferencia del hombre frente a objetivos a largo plazo. Los hallazgos arqueológicos indican que la ciudad sumeria crecía en torno al templo: el excedente era destinado a la propiciación del dios; la tierra se convirtió en su tierra; sus sacerdotes fueron la primera clase ociosa; y las artes que se desarrollaban en su honor marcaron el comienzo de la civilización y del progreso técnico. Por otro lado, en Egipto, el ímpetu originario procedió al parecer, no del miedo y del temor del hombre a la divinidad, sino de la forzada sumisión a un conquistador humano y de la natural ambición por el poder. Con todo, la diferencia es más aparente que real. El jefe del clan del Halcón, que unificó por primera vez el valle del Nilo, se convirtió en dios, en el origen de la fertilidad, don del río, y como tal, habilitado para recibir tributos de los habitantes de sus orillas. Al no existir un templo que sirviese de núcleo, las ciudades crecieron en un principio más lentamente, aunque el papel de los funciona-

rios del faraón, consistente en acumular y administrar los excedentes del producto de la tierra, fue esencialmente el mismo que el del clero sumerio.

Para comprender cómo se llevaron a cabo los impresionantes logros tecnológicos de las primeras civilizaciones es importante saber que, aun cuando el que trabajaba la tierra era considerado más como hombre libre que como siervo, se exigía habitualmente el trabajo forzado en las obras públicas, costumbre que se mantenía aún en Egipto cuando Lesseps comenzó las excavaciones del canal de Suez (p. 648). Asimismo, podemos trazar, a partir de esta época, la evolución de la esclavitud, que tiene su origen en el momento en que por primera vez resultó rentable mantener vivos a los cautivos, ya que su trabajo resultaba más valioso que su mantenimiento. Las guerras producían su cuota de botín humano; pronto los mercaderes comerciaron con un artículo que podía ir por su pie al mercado; y en el seno de la comunidad la esclavitud fue, habitualmente, el destino del criminal o del deudor. Los esclavos del dios o de su templo, así como los del rey o de su Estado, proporcionaron una gran masa de trabajadores, a veces bien adiestrados y con frecuencia cruelmente explotados. Asimismo, a lo largo de la historia antigua casi todas las referencias a la agricultura o a la industria en los países civilizados deben relacionarse con el empleo de esclavos, generalmente en grupos pequeños, al lado de los campesinos y artesanos que gozaban de diferentes grados de libertad personal.

Se afirma que el cobre fue el primer lujo que se convirtió en necesidad. Por consiguiente, la evolución de la civilización durante el tercer milenio a.C. trae consigo un lento incremento en el uso del cobre y del bronce, aleación este último de cobre y estaño. Después del descubrimiento del arado tirado por bueyes y de la irrigación de los campos entre los productores de alimentos del Neolítico, así como de la nave de remos, el más importante sistema de ahorrar fuerza de trabajo inventado por el hombre civilizado fue,

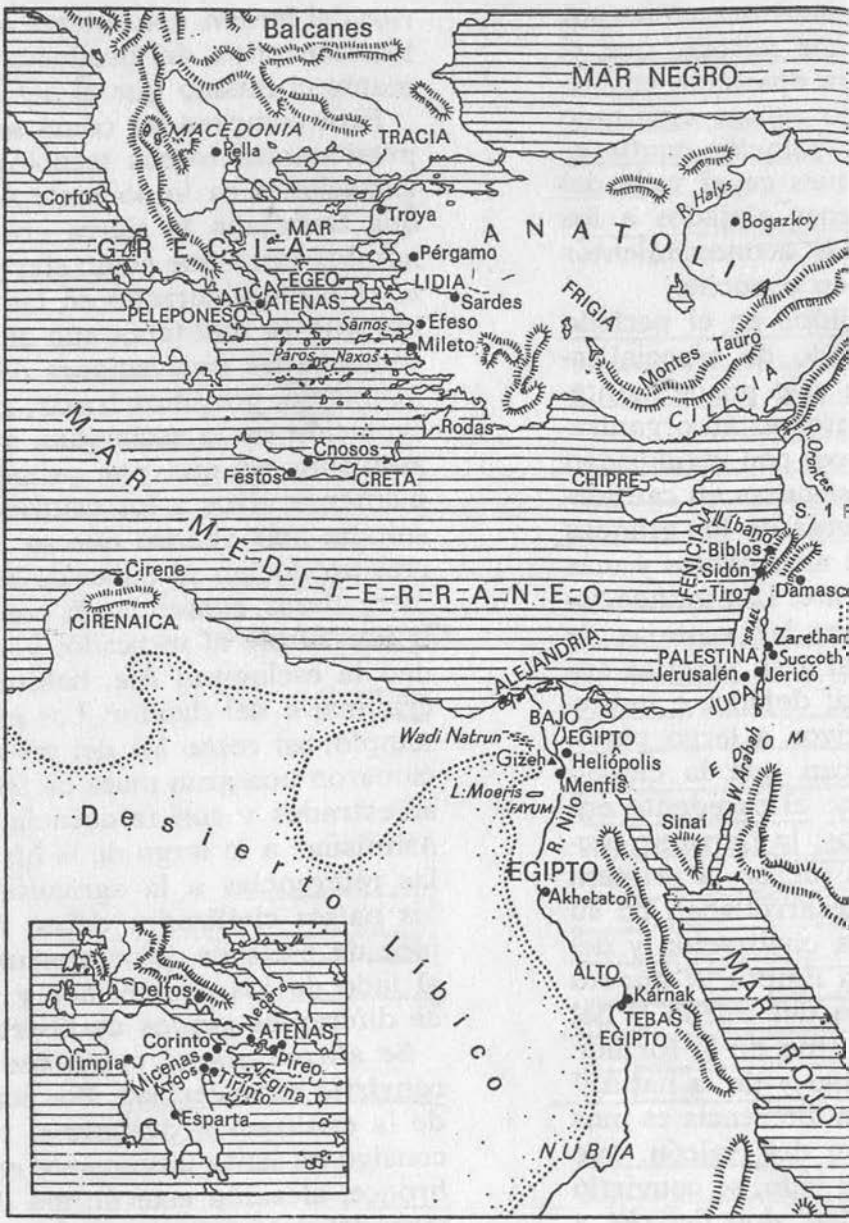


Fig. 2. Los imperios antiguos y la Grecia clásica, con

la ubicación de los lugares mencionados en el texto.

probablemente, el carro de ruedas y la vela (p. 277). En cuanto a la maestría artística del artesano ocupado en trabajos delicados, Egipto, aun antes de su unificación, producía magníficas tallas de marfil, mientras que las tumbas reales de la Ur sumeria muestran que la mayoría de las técnicas empleadas a lo largo de la historia del trabajo artístico del metal se usaban ya hacia el 2500 a.C. Respecto a la construcción, también los sumerios, ya por aquel entonces, habían erigido templos de ladrillo de medidas muy poco inferiores a las de los famosos *ziggurats*, cuyas ruinas sobreviven a partir del período siguiente. De todos modos, las primeras dinastías de Egipto, como quiera que contaban con piedra para trabajar, dejaron un monumento que no necesita la ayuda del arqueólogo para interpretar su esplendor: han pasado cerca de cincuenta siglos desde que se erigió la Gran Pirámide de Gizeh sobre el cuerpo momificado de Keops, y sin embargo sigue siendo la tumba más impresionante del mundo. Tanto en Mesopotamia como en Egipto, el tercer milenio, que había comenzado con tan brillantes perspectivas para la humanidad, finalizó en un desastre político y en un estancamiento tecnológico. El primero de los grandes jefes semitas, Sargón el Grande de Akkad (fig. 3), trajo consigo al primero de una serie de pueblos conquistadores (acadios, amoritas, kasitas) desde el *hinterland* del delta del Tigris y del Eufrates. Todos ellos construyeron su civilización sobre bases sumerias, si bien Hammurabi, el gran legislador y administrador amorita, hizo de la ciudad de Babilonia la más importante de toda la región. Un cilindro de piedra, de dos metros y medio de altura y de apretada escritura, conserva su código legislativo, y sus cartas nos presentan al propio hombre. Pero los invasores hititas, provenientes del noroeste, y los kasitas, del nordeste, derrocaron a sus sucesores, tras lo cual Babilonia, bajo dominio kasita, volvió a caer durante muchos siglos en la barbarie. Mientras tanto, en Egipto, la autocracia altamente centralizada de los faraones

que habían erigido las primeras pirámides dio paso a una época feudal, que para nosotros se caracteriza por las bellas tumbas nobiliarias excavadas en la roca. Los faraones del Imperio Medio condujeron sus huestes feudales Nilo arriba con el fin de conquistar Nubia, y en las proximidades de sus fronteras nacionales se apropiaron de nuevos territorios por medio de vastos trabajos de irrigación, aprovechando las aguas del lago Qarun, en El Fayún. Hacia el 1700 a.C. el reino cayó bajo el dominio de los hicsos o reyes pastores, jinetes nómadas provenientes del Asia occidental; con su expulsión, hacia el año 1580 a.C., se inició el Imperio Nuevo.

Fig. 3. Cabeza de bronce de Sargón.

Este Imperio, que controlaba numerosas naciones, se extendía desde la cuarta catarata del Nilo hasta el Eufrates. Fue también un imperio en el sentido de que dependía del poderío militar, del poderío de los carros de guerra, que se afirmó, con fortuna desigual,

contra enemigos tan poderosos como los hititas. Para nosotros, con todo, su interés radica principalmente en sus triunfos estéticos. Entre los templos de Tebas, que se había convertido ya en la capital de Egipto, se halla, por ejemplo, el Gran Vestíbulo de Kárnak, única nave de 100 × 52 metros, tan amplia como la catedral de Notre Dame, que sigue siendo aún hoy el mayor recinto con columnas del mundo. Junto a ella, la tumba de Tutânkhamón marca el nivel de los logros conseguidos en las bellas artes en la Edad del Bronce, y no sólo en el trabajo del oro y de la plata, en el de los metales semipreciosos y en el del marfil, sino en el de los maravillosos muebles torneados que allí se han encontrado, los cuales no tienen rival en la técnica europea hasta el Renacimiento. Al mismo tiempo, un nuevo estilo realista del retrato nos muestra al faraón, no solamente como gobernante divinizado, sino como hombre y amante cuya suerte es tan frágil como la nuestra. Así podemos participar por un instante del *pathos* de una civilización que había alcanzado tal perfección ya antes del nacimiento de Moisés y que, si bien sus treinta dinastías se prolongaron hasta la época de Alejandro Magno, tuvo su apogeo hace más de 3.000 años.

Al ser el progreso la excepción, y no la regla, en las comunidades humanas, no tiene tanta importancia que especulemos sobre las razones de su detención entre los antiguos egipcios, como que observemos de qué modo los avances tecnológicos llevados a cabo en el Oriente Próximo fueron difundiéndose por grados, cada vez más ampliamente, hasta penetrar en Europa. Ni Mesopotamia ni Egipto poseían unos recursos suficientes que les hubiese permitido desarrollar sus civilizaciones sobre la base de la autarquía. Nunca se habían autolimitado en lo que respecta a la madera, a los metales o incluso al marfil: en el segundo milenio a.C. el desarrollo de barcos más grandes y de un transporte terrestre organizado alentó un ulterior esfuerzo para satisfacer sus necesidades por medio de importaciones. Al intercambiar

los productos de su tecnología superior por materias primas estimularon la imitación. Además, tanto en la antigüedad como en los tiempos modernos las necesidades comerciales estimularon también con frecuencia las ansias de conquista, las cuales, asimismo, dejaron su sello en la vida de los pueblos vecinos aun mucho después de que la marea conquistadora hubiera retrocedido. La agresión provocó la contraagresión: algunos invasores bárbaros fueron absorbidos, en ocasiones, por las sociedades de ambos imperios (pp. 18 y 313); otros chocaron con ellos, aprendieron de ellos y conservaron su independencia.

Entre estos últimos, los más importantes para nuestro estudio son los hititas de Asia Menor, el primero de los pueblos indoeuropeos que salió a la luz de la historia. Oponiendo armas de hierro a las de bronce, arrebataron provincias enteras a ambos imperios, y durante varios siglos, hacia mediados del segundo milenio, erigieron el tercero de los grandes Estados civilizados, que se extendía por el sur hasta Palestina y por el este hasta el Eufrates. Su centro fue Bogazkoy, en las montañas de Anatolia, que en sus mejores tiempos fue una ciudad mayor, con mucho, que Babilonia, y que fue construida allí donde la madera y la piedra eran abundantes. Como disponían de considerable aprovisionamiento de plata, que desde hacía largo tiempo había sustituido al grano como medio de cambio, es evidente que los hititas acuñaron las primeras monedas, y difundieron esta técnica hacia el oeste. Así, la civilización llegó hasta las proximidades de Europa por tierra, aunque, como veremos, su difusión en ese continente estaba destinada a hacerse básicamente por mar.

Pero sería conveniente continuar con la historia de los imperios orientales, al menos hasta el primer revés sufrido a manos de Occidente. Hacia el 1200 a.C. la caída del reino hitita coincidió aproximadamente con el surgimiento del poderío asirio —y en parte fue consecuencia de éste—. Durante un cierto tiempo su eclosión fue contrarrestada, pero finalmente los asi-

rios se apoderaron de Babilonia, arrasaron a las diez tribus de Israel y mantuvieron cautivas a las tribus de Judá y Benjamín. En la época del llamado Sargón II (722-*ca.* 670 a.C.) —la elección de su nombre es significativa— se fundó en Nínive el imperio más extenso de los que surgieron nunca en Asia occidental. Los asirios hicieron amplio uso de la piedra, tanto para revestimientos de mampostería en sus colosales edificios de ladrillo como para sus esculturas en relieve. Las figuras de animales que crearon fascinan aún hoy a los occidentales, aunque fueron sus ejércitos, provistos de armas de hierro, y sus arietes (fig. 4) los que más impresionaron a sus contemporáneos. Llevaron a cabo un inmenso intercambio con Oriente y Occidente, utilizando el idioma de un pueblo conquistado, los arameos de Siria, como lengua comercial. De la India trajeron la planta del algodón para adornar el parque de Senaquerib; gracias a su comercio con Asia Menor llegaba la plata de Cilicia, empleada por ellos como medio de cambio. Cuando Nínive cayó ante los medos y los caldeos en el 612 a.C. dejó una tradición de imperio mundial cuyos efectos perdurarían hasta el surgimiento de Roma.

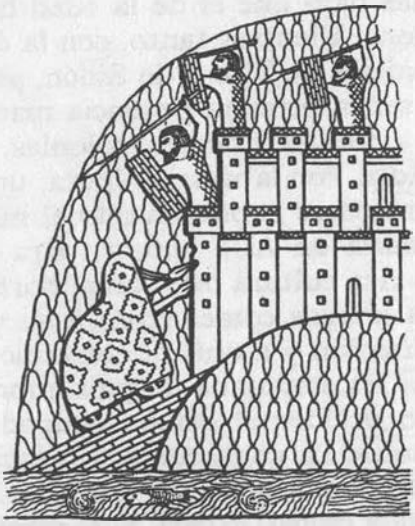


Fig. 4. Ariete sobre ruedas. Nínive, siglo VII a. C.

El Imperio neobabilonio o caldeo, que le siguió, fue el de Nabucodonosor, que condujo a los judíos cautivos a Babilonia, ciudad adornada con los jardines colgantes, con el templo que inspiró la torre de Babel y con la puerta de Istar, aún visible (fig. 64). Recuerdo de mayor duración fueron, con todo, los datos astronómicos obtenidos de manera muy cuidadosa, acumulados durante muchos siglos sin utilizar el telescopio u otro tipo de cronómetro, sobre los que iba a basarse ampliamente la astronomía griega. La decadencia de Babilonia comienza con su conquista en el 539 a.C. por Ciro el Grande, fundador del Imperio persa, que había llegado hasta el rico reino de Lidia, en el Asia Menor occidental. El segundo de su dinastía conquistó Egipto, el tercero extendió la dominación persa hasta el Danubio. Su poder se fortaleció con la institución de una famosa red de rutas postales y de estaciones. Los persas, que se hallaban también en su elemento en el mar, enviaron sus barcos al océano Indico, intentaron poner de nuevo en funcionamiento un antiguo canal egipcio con el fin de unir el mar Rojo al Mediterráneo y organizaron la gran invasión de Europa por mar descrita por Heródoto. El Imperio persa, que eclipsó a todos sus predecesores tanto por su extensión como por su poderío y por la gloria de los enormes complejos arquitectónicos de Persépolis y Susa, dio a Oriente casi dos siglos de paz. No sufrió una nueva sacudida hasta la penetración de los ejércitos de Alejandro Magno, el cual, cuando la misma Grecia había pasado su cenit, gastó la fuerza de su juventud contra civilizaciones que ya eran viejas cuando Grecia era aún joven.

EL SURGIMIENTO DE GRECIA Y DE ROMA

Si nos remontamos al pasado con el fin de trazar la historia de los comienzos de la civilización en Europa en el segundo milenio a.C., quizá podamos dete-

nernos para resaltar este último punto. El período mejor conocido de la historia antigua, y que por tal razón recorreremos brevemente, es la historia del surgimiento de Grecia y Roma. En el campo de la política y la literatura hay, en verdad, razones obvias para aceptar esta preeminencia tradicional; pero desde el punto de vista tecnológico las glorias de Grecia y Roma han sido a menudo exageradas. Cuando los griegos y los romanos, sucesivamente, vencieron a las antiguas civilizaciones del Oriente Próximo se apropiaron —y heredaron— muchas cosas, pero también destruyeron mucho, y lo que crearon para sustituirlo fue pocas veces mejor, y a menudo inferior, a los logros técnicos de los primeros tiempos.

Tales técnicas incluían, ya desde los tiempos más remotos de la historia egipcia, la construcción de barcos para la navegación de altura, que transportaban alfarería y otras mercancías a lo largo de la costa siria a cambio de cedros del Líbano y de otras muchas materias primas que escaseaban en el valle del Nilo. De allí una breve pero importante escala los llevaba a la boscosa isla de Creta, donde las importaciones egipcias —y quizá también las enseñanzas de los refugiados procedentes de Egipto en la época de su primera unificación— permitieron por primera vez a un pueblo europeo intentar un modo civilizado de vida. A comienzos del segundo milenio a.C. los cretenses exportaban ya vasijas y jarros a Egipto, a menudo en barcos propios. Pero el apogeo de la civilización minoica se sitúa entre el 1600 y el 1400 a.C., cuando Cnosos era una metrópoli de ladrillo que albergaba probablemente una población de unos 80.000 habitantes. El palacio de Minos, famoso en la leyenda griega, fue el primer gran logro arquitectónico del Mediterráneo septentrional; fue a la vez un importante centro industrial y la sede de la administración real. Alfareros, orfebres del metal y del marfil, pintores y vidrieros, todos ellos altamente especializados, proporcionaron las bases del comercio ultramarino, que se expandió en todas direcciones por el Medite-

rráneo oriental. Del oro español al estaño británico, del ámbar del Báltico a las pieles rusas, todos los pueblos bárbaros tenían algo que ofrecer; y lo que ellos obtenían a cambio eran mercancías que estimulaban el lento paso de las regiones occidentales a la Edad del Bronce. No poseemos datos directos sobre los artesanos que trabajaban el bronce, los cuales quizá tuvieran que recorrer largas distancias en busca de clientes; pero la figura de una daga esculpida hallada en Stonehenge (p. 237) tiene su paralelo más próximo en las dagas de bronce de la Grecia micénica, avanzada, en el continente, de la cultura minoica.

La caída del Imperio hitita en Asia Menor, el saqueo de Cnosos, que parece haber estado sometido a dominadores griegos en sus últimos tiempos, el fin de la cultura minoico-micénica en Tirinto y en la misma Micenas y el declive del Imperio Nuevo en Egipto son acontecimientos que señalan, a finales del segundo milenio a.C., el inicio de la acometida contra el mundo mediterráneo de los invasores indoeuropeos del norte. Entre ellos se hallaba el grupo principal de los griegos, los dorios, que durante varios siglos después de su llegada a la región que iban a hacer famosa vivirían a un nivel cultural bastante más bajo que el de la edad heroica descrita por Homero. Mientras tanto, con la decadencia de Creta, los fenicios de Tiro y de Sidón, pueblos semitas, llegaron a ser la primera potencia marítima del Mediterráneo y a fundar grandes colonias, tales como Cartago y Cádiz. Por la misma época, un pueblo que llamamos etrusco se había lanzado al mar desde su patria, originaria en Asia Menor, para trasplantar finalmente su rica cultura oriental al norte de Italia. Así, cuando los griegos comenzaron a su vez a desarrollar su civilización y a unir el comercio a la colonización, a lo que les empujaba un país improductivo, el Mediterráneo occidental estaba ocupado ya por dos grandes rivales. La consecuencia principal fue que, pese a la gran importancia de Siracusa, que llegó a ser la segunda ciudad griega, y de otras muchas colonias grie-

gas en Sicilia y en el sur de Italia, la Grecia clásica dejó su huella más directa e inmediata en el mundo oriental.

Hacia el 600 a.C. los técnicos griegos habían alcanzado en ciertos aspectos el nivel de sus maestros orientales, superándolos en cuestiones de gusto. Homero describe el hierro en sus poemas, pero no como material para armamento. En los tiempos clásicos los griegos eran expertos en diversos modos de trabajar los metales, y llevaron adelante su comercio con la ayuda de la moneda acuñada —enorme estímulo para el comercio en pequeña escala—, a imitación de los lidios, que habían sido vecinos de los hititas. Sus importaciones básicas eran grano y pescado de las colonias del mar Negro y de su *hinterland;* importaban también esclavos y numerosos objetos de lujo, que iban desde los tesoros de arte etruscos a los tapices y ricas vasijas de plata de Oriente. Se necesitó un colosal desarrollo industrial para producir metales, tejidos, alfarería, aceite y vino, que Grecia, y especialmente el Atica, exportaban a su vez. Se han hallado ánforas áticas del siglo v en Renania y a orillas del Marne, si bien fue el vino griego, vendido principalmente en pellejos, de los cuales no quedaron huellas, el que tuvo mayor aceptación entre los bárbaros celtas.

La derrota final de los invasores persas en el 479 ante los griegos guiados por Atenas marca la ascendencia de los griegos entre las naciones y la de Atenas entre los estados griegos. Durante dos generaciones fue la cabeza de un Imperio tributario: los atenienses alcanzaron su época dorada, aquélla en la que la estatua criselefantina de Palas Atenea, debida a Fidias, presidía una capital embellecida como ninguna otra. Mas para la historia de la tecnología es quizá más importante señalar que la posición de Atenas, como principal centro comercial y metrópoli virtual del mundo mediterráneo, sobrevivió durante mucho tiempo a su declive político. Industrializada hasta un punto que entonces constituía una verdade-

ra novedad y ayudada por el hecho de que la cuna de la democracia tenía una población compuesta en un cincuenta por ciento por esclavos, Atenas habría muerto de hambre a no ser por la perdurable reputación de su alfarería, de sus bronces y de otros trabajos en metal, así como de sus muebles, que permitían la llegada de los barcos cargados de grano al Pireo.

Incapaces de llegar a un acuerdo en sus querellas, los griegos iban a caer pronto bajo la férula de los montañeses de Macedonia, en su propio *hinterland*. La secuela inmediata fue la década de conquistas de Alejandro (333-322 a.C.), durante la cual la civilización de los griegos sometidos se extendió por Asia con su conquistador. Si bien el avance militar fue detenido en el Indo, el arte griego penetró en toda la India e incluso en China, mientras que las sucesivas Alejandrías, fundadas en lugares tan lejanos como Kandahar, en Afganistán, proporcionaron el modo de vida griego a toda una serie de nuevos puntos de apoyo. Alejandro, en efecto, hizo que el comercio superara las barreras nacionales: si el tesoro estatal, equivalente hoy a cuarenta millones de libras esterlinas, que aquél había capturado en Persia y puesto en circulación fue tan sólo un aliciente temporal, la difusión de la lengua griega a través de sus vastos dominios resultó más duradera que la mayoría de los éxitos políticos. Cuando, tras su inoportuna muerte, la herencia fue dividida entre los tres Estados que le sucedieron, ninguno rechazó la tradición griega, y uno de ellos, el Egipto de los Tolomeos, entró en una nueva etapa de su historia, con la mayor de las Alejandrías como capital.

La época helenística que siguió fue de gran actividad industrial, facilitada por la existencia de rutas comerciales que cruzaban toda Asia. Fue una época que se distinguió por su planificación urbana, por sus buenos aprovisionamientos de aguas y por sus sistemas de drenaje. Se erigieron bellos edificios de gobierno, con ventanas altas y arcos traídos de Oriente;

las viviendas disfrutaban de mayores comodidades y los muebles eran a menudo lujosos. Los importantes avances en matemáticas, astronomía y medicina fueron acompañados por inventos prácticos con el fin de ahorrar fuerza de trabajo. En la ciudad de Alejandría una gran biblioteca reunía todo el saber del mundo conocido, mientras que su enorme faro vigilaba por encima de una masa de barcos que daba a la ciudad el aspecto de un gran puerto moderno. Alejandría tenía también su museo, que ejerció las funciones típicamente griegas de una universidad. Pero no hay que exagerar el grado de helenización. Si bien Alejandro había acabado con el poder militar de los imperios del Oriente Próximo, la huella de sus antiguas civilizaciones, a lo largo de numerosas generaciones, no podía desvanecerse tan fácilmente. La religión no fue más que una de las grandes fuerzas autóctonas que continuaron desplazándose principalmente de Oriente a Occidente.

Si Alejandro hubiese vivido más tiempo habría proseguido probablemente su carrera de conquistas hacia Occidente, de tal modo que la totalidad del mundo mediterráneo, tanto oriental como occidental, podría haber sido unificada unos tres siglos antes de lo que en realidad lo fue. Los tiempos estaban maduros, porque el impulso de las civilizaciones que se habían desarrollado y extinguido en otras partes había penetrado ya por estas fechas, hasta lo más recóndito de la Europa bárbara, por el valle del Danubio y a través de los mares interiores. En la mayoría de las regiones los instrumentos líticos habían sido finalmente sustituidos por los de bronce, y, desde los comienzos del último milenio a.C., por el trabajo del hierro, que tenía su centro en los Alpes orientales y había comenzado a difundirse entre las tribus germánicas y célticas. Estas últimas se hallaban en pleno movimiento, y su penetración en Italia quebrantó el poderío etrusco. Pero en vida de Alejandro Magno fue el oscuro Estado de Roma, que había permanecido largo tiempo bajo el control etrusco, el que se

situó en primera fila, a la cabeza de las tribus latinas de su inmediato entorno, preparándose, sin saberlo, para el destino que el macedonio no había sido capaz de llevar a término. A mediados del siglo III a.C. los romanos habían sometido a las ciudades griegas del sur de Italia, cuyos barcos habían puesto los cimientos del comercio romano, y habían expulsado a los cartagineses de Sicilia. En el siglo siguiente fueron los vencedores en una lucha titánica por el control del Mediterráneo occidental al someter a Cartago, ciudad tres veces mayor que Roma y que se había desarrollado por medio del transporte comercial hasta llegar a ser el puerto más próspero del mundo conocido, aunque limitado, como no lo estaba la Roma republicana, por el peso de la dependencia de un sistema de propiedad esclavista. Cuando los romanos, en el 146 a.C., arrasaron completamente Cartago, su poder se extendía ya desde la España meridional hasta Macedonia y Siria; y el incendio de Corinto, en el mismo año, mostró además su habilidad para imponer su voluntad despiadada a los belicosos dominadores del mundo mediterráneo oriental.

Al igual que Alejandro, que se había hecho invencible gracias a su bien adiestradas falanges de infantería, flanqueadas por caballería pesada, los romanos sobresalieron en las técnicas militares. Tomaron de los griegos del sur de Italia dos perfeccionamientos del principio del arco: la catapulta para lanzar flechas y la balista pesada. Pero las conquistas de la República se debieron sobre todo a las legiones, entrenadas muy cuidadosamente, que marcharon hasta el Eufrates y el mar Caspio, sometieron a los celtas de la Galia, salvaron el Rin y cruzaron el tempestuoso canal de la Mancha hasta llegar a Gran Bretaña. Finalmente, con la absorción del Egipto de Cleopatra, la tecnología militar romana completó la unión entre Oriente y Occidente.

El período de las conquistas exteriores fue a su vez un período de luchas internas, en las que la República iba a perecer. Sus dirigentes políticos se

habían enriquecido y corrompido por el saqueo de provincias que habían sido durante largo tiempo el centro de la civilización occidental: en este tiempo, Roma atraía el comercio del mundo y pagaba en moneda más que en mercancías. La agricultura tradicional de Italia decayó en gran parte, y las pequeñas granjas dieron paso a vastas propiedades, donde se criaba ganado y se cultivaban la vid y el olivo por grupos de esclavos importados. En la misma Roma las tiendas pertenecientes a romanos y las residencias de campo de los grandes estaban llenas de esclavos: 150.000 prisioneros fueron capturados en una sola campaña; y de la isla de Delos, que los romanos habían transformado en un depósito general, dice Estrabón que en un día se habían llegado a subastar 10.000 esclavos, a precios que oscilaban entre 20 y 60 libras esterlinas de hoy por cabeza. En el siglo de violencia y confusión con que termina la historia de la Roma republicana, las revueltas de esclavos, reprimidas con gran dureza, atraen nuestra simpatía más fácilmente quizá que las amargas luchas por el poder entre los grupos políticos rivales. Su corolario, de todos modos, fue la victoria de un gran estadista y fundador del Imperio romano, Augusto, el cual, en el 30 a.C., en una misma campaña, acabó con su último enemigo, Marco Antonio, y se apoderó de Egipto.

EL IMPERIO ROMANO

Así, el mundo mediterráneo pudo gozar, por primera y única vez, de dos siglos de paz (fig. 5). Pese a que resultó imposible conservar las antiguas regiones mesopotámicas más allá del Eufrates y que no hubo tampoco conquistas duraderas en la Germania al este del Rin, o en la moderna Rumania, al norte del bajo Danubio, el hecho más importante es la seguridad de la región interior, que formaba una unidad económica de una amplitud jamás vista en Europa posteriormente, a lo largo de todo un período tan

largo como el que nos separa a nosotros mismos de Pitt el Viejo y de George Washington. Las sombras comenzaron a cernirse de nuevo durante el reinado del emperador filósofo Marco Aurelio Antonino, pero la edad de oro no finalizó definitivamente hasta la muerte de su hijo, el emperador Cómodo, en el 192 después de Cristo.

Mientras tanto, Roma había sustituido a Alejandría como la más espléndida ciudad del mundo occidental, coronada por la suntuosa residencia de Augusto en la colina del Palatino, de la que deriva nuestra palabra «palacio». Dos generaciones después, el gran incendio acaecido en el reinado de Nerón proporcionó la oportunidad de una reconstrucción más general de la ciudad. Buena parte de ella se construyó con hormigón revestido de ladrillo, y los ladrillares que surgieron para cubrir esta necesidad condujeron al monopolio de la fabricación de ladrillos en Italia, según los modelos modernos, cuyos beneficios ayudaron a elevar al poder a la dinastía antonina. Respecto a otros materiales de construcción, podemos decir que el plomo se abarató tanto (en parte como subproducto de las minas de plata) que el trabajo de plomero alcanzó un alto grado de eficiencia. Un canal artificial, planeado por Julio César, unió la capital con Ostia, y se tenía la intención de que llegase hasta Puteoli, su principal puerto exterior, ya que unos cinco millones de fanegas de trigo, un tercio aproximadamente de las necesidades anuales de pan para Roma, eran de origen egipcio.

Políticamente, Roma e Italia se hallaban favorablemente situadas para mantener un comercio a escala mundial: no sólo todos los caminos conducían a Roma, sino que las rutas marítimas del Mediterráneo estaban, por primera vez en su larga historia, sometidas a una sola y eficaz autoridad policial. De este modo, la alfarería de Puteoli, de Arretium y del valle del Po proporcionaba artículos de mesa para todos, salvo para las provincias sudorientales del vasto Imperio, en tanto que la Italia del sur poseía una in-

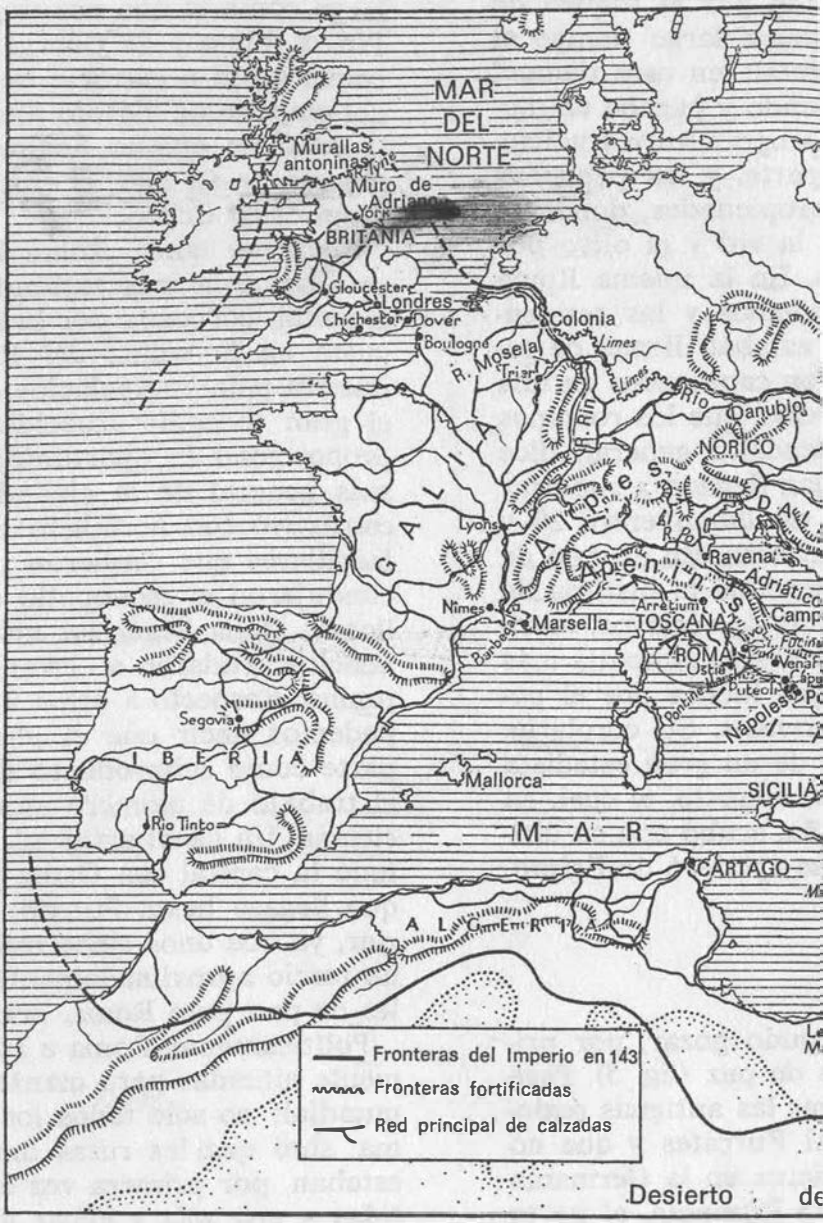
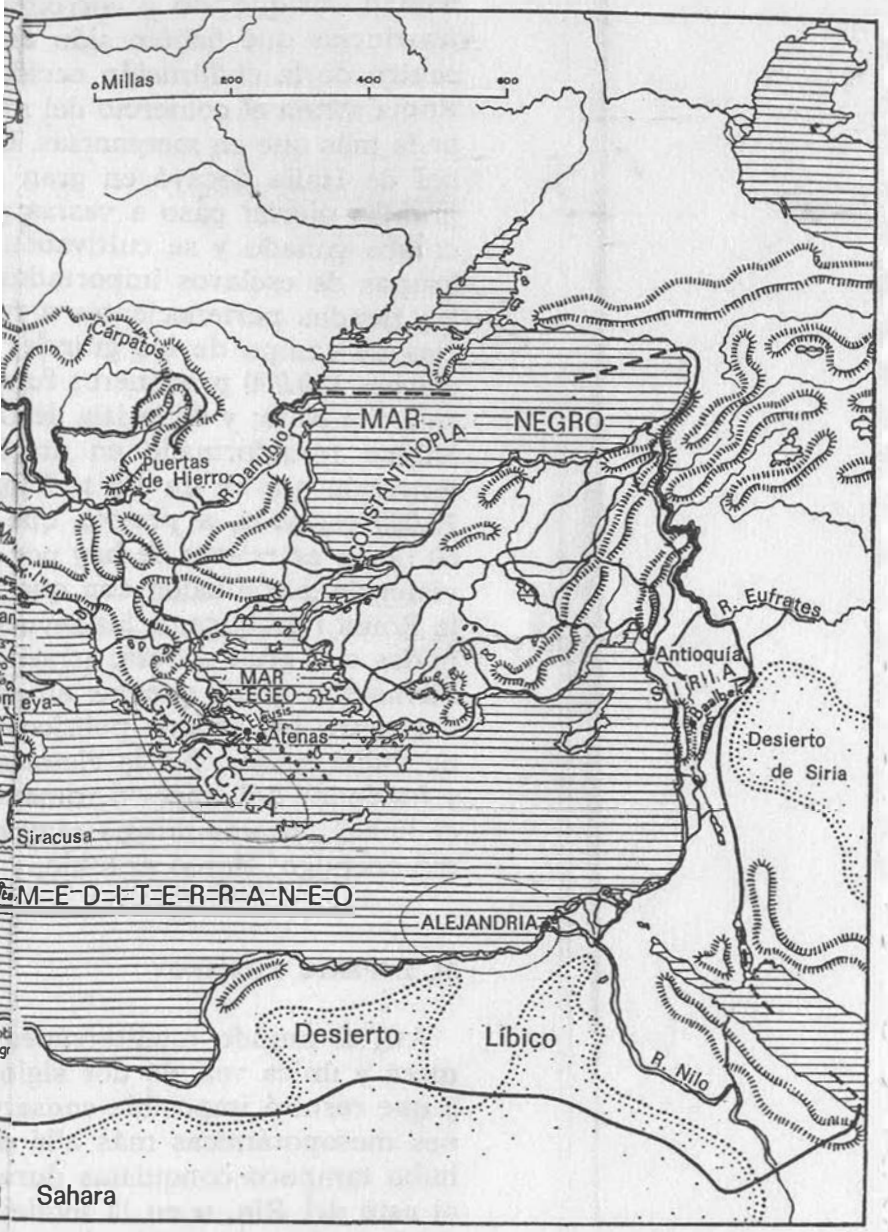


Fig. 5. El Imperio romano, con los nomb



e de los lugares mencionados en el texto.

dustria de lana en gran escala. Los historiadores económicos mantienen que el mundo mediterráneo, en conjunto, no ha recuperado nunca la prosperidad gozada a fines del primer siglo y comienzos del siglo, cuando Domiciano y Adriano consolidaron la frontera natural del Danubio, el Rin y el Tyne. Pero desde el punto de vista del historiador de la tecnología, éste es, sobre todo, un período caracterizado por la amplia difusión de artesanías refinadas, porque el comercio del Imperio romano no se desarrolló según las líneas de un solo «taller» italiano a escala mundial.

Si dirigimos nuestra atención al Oriente Próximo, constatamos que uno de los factores más importantes fue el firme desarrollo de las rutas comerciales a través del Mediterráneo; se instalaron numerosos muelles y faros, fundamentalmente en beneficio de los barcos del gobierno que cargaban y transportaban mil toneladas de grano en un solo viaje entre Egipto y Roma. Era natural, por tanto, que se intentase también extender el tráfico más hacia el este. Se conocía la existencia de vientos estacionales en el océano Indico, y hubo un tiempo en que una flota de 120 barcos viajaba regularmente entre el mar Rojo y la India. Sin embargo, los estrechos contactos con el Oriente Próximo contribuyeron principalmente al despertar económico de aquella región, contra la cual Italia no pudo competir a la larga, ni aun cuando las filas de sus artesanos se reforzaron ampliamente con técnicos provenientes de Oriente.

En cambio, si observamos las zonas que anteriormente estaban menos civilizadas, al oeste y al norte del Imperio, encontraremos una serie distinta de acontecimientos. Fue el ejército romano quien primero penetró en esas regiones: éste llevó a menudo consigo sus propios útiles de alfarería y otros objetos manufacturados que formaban parte de su equipo. Siguiendo los pasos del ejército llegaron los comerciantes italianos a fin de cubrir las necesidades militares y civiles. Pero los altos costos del transpor-

te en todas las zonas alejadas de los ríos navegables indujeron rápidamente a la industria a volcarse hacia el exterior: porque si se hubiesen obtenido fácilmente los materiales y un suministro suficiente de trabajo, ¿quién hubiese pensado siquiera transportar productos de alfarería a provincias lejanas? Existían también muchas técnicas que podían practicarse sólo localmente, aun cuando, como en el caso de los minerales, los derechos de propiedad estuvieran estrictamente reservados a la autoridad imperial central: por ejemplo, las minas existentes en España eran más profundas y su explotación más ingeniosa que cualquiera de las conocidas en la Europa posromana en los siguientes mil años. De un modo más general, las herramientas y los oficios de albañil, cantero y carpintero se introdujeron para construir en las regiones conquistadas ciudades en las que pudiera apoyarse el modo de vida romano. La explotación agrícola, sin embargo, fue extraordinaria. Roma sometió a tributo todas las riberas del Mediterráneo: en Argelia, por ejemplo, aún existen vestigios de los trabajos romanos casi en cada municipio. En España los riegos estaban supervisados por el Estado, y las enormes exportaciones de vino, aceite, pescado y otros productos españoles han dejado tras de sí, en Roma, en los lugares de descarga, un peculiar recuerdo, en los fragmentos de algunas de las 10 millones de ánforas de 50 litros de capacidad cada una que constituyen el actual monte Testaccio. Incluso Britania no se hallaba muy lejos de convertirse en un importante granero imperial.

No obstante hubo siempre notables limitaciones a los logros romanos. Habían construido un Imperio en el cual el bienestar y la vida civilizada de las ciudades reposaba sobre las espaldas de la laboriosa población campesina que producía los alimentos; con todo, no hubo una revolución de la industria que acelerase la producción industrial urbana, tal como las condiciones de paz inducían a creer. Tampoco existió una edad de oro de la ciencia pura, ni los inte-

lectuales de Roma tomaron, aparentemente, un interés por la tecnología comparable con el de las obras públicas del momento: se encomendó a los libertos y a los inmigrantes extranjeros el progreso de la industria.

Desconocemos la verdadera razón por la cual los romanos desplegaron tan poca inventiva en los problemas mecánicos. En realidad la necesidad existía, porque el número de esclavos en cautividad no se mantenía constante, y en cualquier caso, es un punto a favor de la sociedad romana el que los libertos fuesen en cada generación más numerosos, de modo que cuando el Imperio cesó de expandirse y no hubo más guerras de conquista la fuerza de trabajo tradicional de la industria tendió a declinar. Los hallazgos arqueológicos muestran realmente que se hizo algún uso de máquinas que ahorraban fuerza de trabajo, tales como el molino de agua, y con el tiempo se introdujo una cierta concentración de la industria en las fábricas imperiales de armas y ropas. Pero la tecnología romana no recibió un impulso revolucionario como el que hubiera podido salvar a un Imperio en decadencia.

Con respecto a la agricultura, el interés se centra en aquellas provincias exteriores por las que el Imperio había comenzado a extenderse en tiempos de Julio César. Las regiones mediterráneas tenían desde hacía mucho tiempo sus propios problemas, tales como las lluvias estacionales y la liviandad de los suelos; con frecuencia estaban escasamente abonadas, pues las ovejas se enviaban a pastar a los montes; y había una escasez general de tierra para el ganado. Se ha sugerido que el agotamiento de la tierra fue una de las causas de la consiguiente caída del Imperio, aunque al comparar los precios del grano durante la República y el Bajo Imperio no se observan diferencias apreciables. En cualquier caso, la economía romana tenía mucho que ganar si consagraba un amplio espacio a los cultivos, y el estímulo dado al laboreo, fuera de las tierras mediterráneas,

es uno de los más importantes adelantos de este período. Pero las regiones afectadas, tales como la Galia del norte y Britania, eran principalmente zonas de clima poco propicio y suelo predominantemente pesado, a las que las técnicas agrícolas practicadas por los romanos tenían poco que ofrecer, excepto en lo que se refiere a la viticultura, campo en el que fueron herederos de los griegos.

Tras la muerte de Cómodo y durante tres generaciones, el Imperio estuvo al borde del colapso; lo salvaron de la desintegración total dos grandes gobernantes, Diocleciano (284-305) y Constantino el Grande, el cual alcanzó el poder absoluto en el 312 y murió en el 337. El Imperio restaurado fue, sin embargo, una autocracia administrada burocráticamente, cuyos gobernantes vestían los trajes e imitaban los modales de los déspotas orientales, según las pautas de su rival del este, el nuevo Imperio persa de los reyes Sasánidas. A pesar de que Constantino hizo del cristianismo la religión oficial, ni este cambio trascendental, ni la división del Imperio en dos mitades, que había sido experimentada anteriormente por Diocleciano y consagrada en el 395, pudieron restaurar el espíritu que se había perdido.

Son aún inciertas las razones por las cuales el Imperio de Occidente declinó y cayó. En el aspecto tecnológico, si nos resulta inadecuada la teoría del empobrecimiento del suelo, existe una causa de declive confirmada, y es la producción de metales, aunque es difícil decir si esto fue la causa o el efecto. Al contar con menor cantidad de oro para la importación, Roma perdió, por ejemplo, los incentivos de su comercio con Oriente. También se ha sugerido que la imposibilidad de hacer frente a los problemas sanitarios ocasionados por la vida en las grandes ciudades explica el descenso de la población en Grecia y en Italia durante este período; el abandono de los trabajos de saneamiento, particularmente en la región de Roma, pudo muy bien haber contribuido a un grave incremento de la malaria. En un sentido más ge-

neral, podría parecer que el intento de concentrar la industria, mencionado con anterioridad, hizo poco por contener el empobrecimiento de la vida urbana, lo cual, unido al excesivo peso de los impuestos imperiales, desalentó fatalmente a las clases medias. En sus tratos con los bárbaros, los romanos parecen haber perdido las confianza en su misión civilizadora, mucho antes de que los mismos bárbaros perdieran su temor ante la grandeza romana. En realidad, el Imperio, observado desde provincias tales como las Galias o Britania, que en el siglo IV gozaban de una prosperidad excepcional, iba a tardar aún mucho en morir. La misma Roma fue saqueada dos veces por los bárbaros; Atila, rey de los hunos, permaneció un tiempo en suelo italiano; y habían brotado reinos bárbaros desde el norte de Africa hasta Britania, ya antes de que el hérulo Odoacro interviniera en el 476 para deponer, en Occidente, al último y fugitivo emperador romano.

¿Qué fue lo que transmitió este Imperio romano, ya en agonía, a sus herederos? La respuesta es: más de lo que se podría esperar. Todos los pueblos bárbaros, exceptuando quizá a los hunos, habían permanecido durante largo tiempo en contacto con el Imperio gracias al comercio; los hallazgos de monedas romanas en lugares tan alejados como el norte de Escandinavia y la Rusia central son testigos silenciosos de ello. Además, los bárbaros habían penetrado en el Imperio a lo largo de los siglos, buscando fortuna como soldados mercenarios y como colonos. Asimismo hay que tener en cuenta la influencia de la Iglesia cristiana estatal, de sus obispos y monasterios. A despecho de las enseñanzas de San Agustín en *De civitate Dei*, los clérigos apreciaban el recuerdo de las glorias materiales de la Roma terrena. Cuando lo que habían sido ciudades romanas se convirtieron en centros de administración episcopal, entre los pueblos bárbaros convertidos, el obispo conservó, como era natural, todo lo que pudo del modo

de vida romano, aun cuando se tratase sólo de la conservación de un acueducto en reparación, o del estilo en la construcción de una basílica (fig. 6). De este modo el mundo occidental no perdió nunca completamente las tradiciones tecnológicas que Roma había recibido del Oriente Próximo. Existía un irritante recuerdo de las comodidades y lujos desaparecidos, de los útiles conocimientos de la agri-

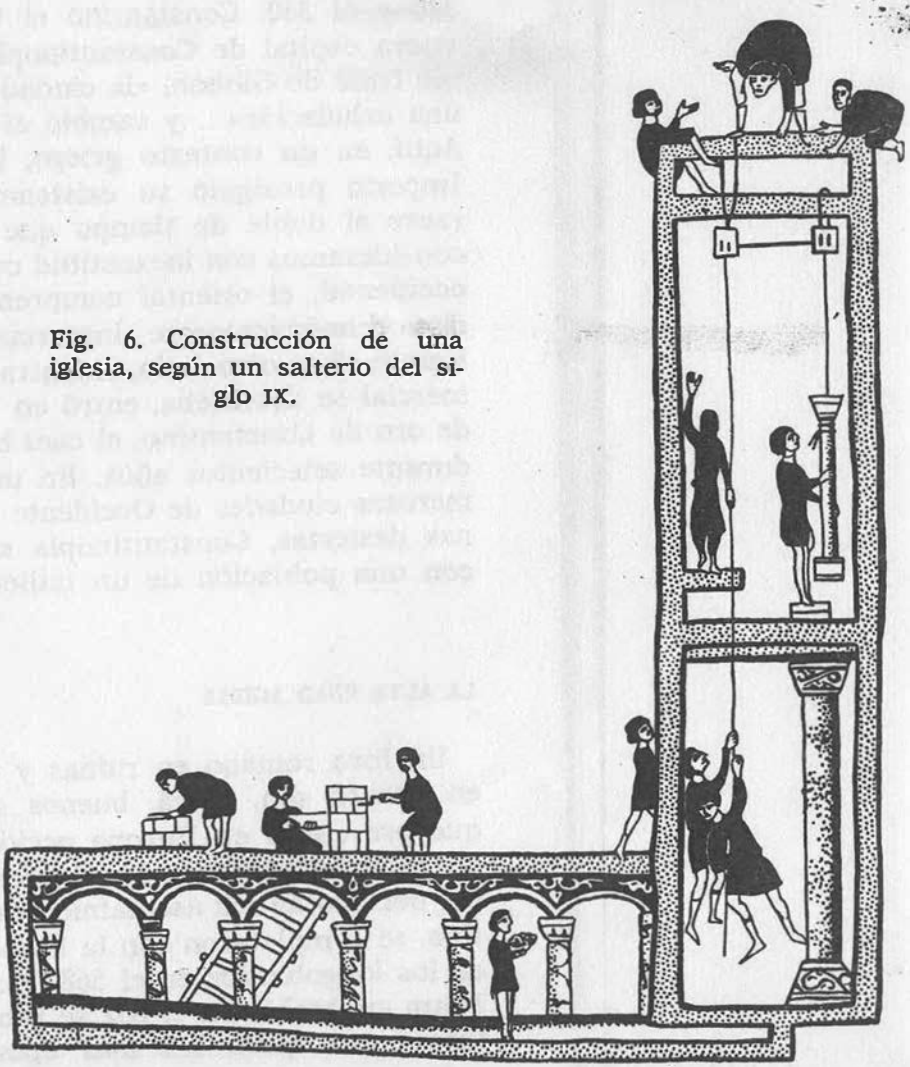


Fig. 6. Construcción de una iglesia, según un salterio del siglo IX.

cultura mediterránea, e incluso, mientras las calzadas romanas comenzaban a decaer lentamente, de la utilización constante de unas técnicas refinadas en el trabajo de los metales, para adornos y armas.

No obstante, desde distintos puntos de vista, y en especial desde la tecnología, el acontecimiento clave de estos siglos no fue la destrucción de Roma en Occidente, sino la transmisión de las ideas romanas a Oriente. En los cuatro años transcurridos entre el 326 y el 330, Constantino el Grande construyó su nueva capital de Constantinopla. Según la memorable frase de Gibbon, «la ciudad oriental surgió como una exhalación»... y cambió el curso de la historia. Aquí, en un contexto griego, la mitad oriental del Imperio prosiguió su existencia independiente durante el doble de tiempo que ese Imperio al que consideramos con inexactitud como el único Imperio occidental, el oriental comprendía sólo dos provincias económicamente importantes: Asia Menor y Egipto. Por otro lado, mientras el intercambio comercial se debilitaba, entró en circulación el *aureus* de oro de Constantino, el cual habría de mantenerse durante setecientos años. En una época en que numerosas ciudades de Occidente se convertían en ruinas desiertas, Constantinopla se jactaba de contar con una población de un millón de habitantes.

LA ALTA EDAD MEDIA

Un foro romano en ruinas y una calzada romana en desuso son, quizá, buenos símbolos de la vida que prevaleció en Europa occidental al término de las grandes migraciones. Quedan pocos testimonios del período de los asentamientos, que, en cierto sentido, se completaron con la llegada al norte de Italia de los longobardos en el 568. Pero el nacimiento del Islam en Arabia en el 662 se produjo tan inmediatamente que quizá sea más oportuno considerar la

rápida difusión del poderío musulmán desde el Indo, al este, hasta España, en el oeste, como parte de un único y amplio movimiento, que duró hasta que Carlos Martel repelió el avance musulmán sobre Francia (732), y preparó el camino a su nieto Carlomagno, que iba a resucitar brevemente el Imperio cristiano occidental. Si, de todos modos, nos detenemos en el día en que Carlomagno fue coronado «Emperador de los romanos», el día de Navidad del año 800, es posible ya discernir diversos factores que hacen entrever, para Europa occidental, un futuro menos oscuro que los cuatro siglos anteriores.

La coronación de Carlomagno atestigua la creciente preponderancia de la Iglesia cristiana tanto en lo secular como en lo espiritual. Desde el 529, los monjes de la orden benedictina habían impulsado el desarrollo del laboreo agrícola y rescatado tierras desiertas en numerosas zonas de Occidente. En tiempos de Carlomagno se fundaron grandes abadías en la Galia septentrional y en Alemania. Como la vida urbana se hallaba todavía a un bajo nivel, fueron las encargadas de la importante tarea de preservar la artesanía especializada y la organización comercial, sin las cuales los monjes no hubieran podido existir, ni mucho menos prosperar, al necesitar muchas cosas que no podían producir por ellos mismos. Estaban directamente interesados en las técnicas agrícolas, y parece probable que fueran los monjes de los grandes monasterios los primeros terratenientes que adoptaron la mejora fundamental de la agricultura en la Edad Media: la sustitución de la rotación bienal de los cultivos según el sistema romano por la rotación trienal. A este uso más intensivo del terreno cultivable se fue añadiendo, paralelamente, un aumento de su superficie, a medida que los bosques iban cayendo bajo el hacha. Aquí también la Iglesia desempeñó un importante papel, al luchar contra la esclavitud de los cristianos, aunque no siempre con la misma resolución: en los feudos medievales la institución de la servidumbre no pudo

evitar, en general, que aquel que conseguía un nuevo terreno se aprovechase de su suerte. En mayor escala, la colonización por los germanos de la Marca Oriental (Austria) de Carlomagno fue asimismo un progreso significativo.

Con todo, aún faltaba el estímulo para un comercio a gran escala, y cuando Carlomagno murió las rutas fluviales y marítimas se transformaron en las grandes arterias de penetración de las sangrientas incursiones y conquistas de los vikingos. Buena parte de los objetos de valor de la Europa occidental, que podrían haber sido objetos de comercio, fueron a adornar las casas de los bárbaros a lo largo de los fiordos de Noruega y de otros lugares, mientras que más al este las regiones fronterizas del Imperio carolingio eran asoladas por los magiares, que llegaron a ellas a través del sur de Rusia, hasta establecerse definitivamente en las llanuras de Hungría, y que fueron rechazados del corazón de Europa con gran dificultad. Los siglos X y XI, asimismo, vieron cómo los pueblos de sangre noruega, danesa y sueca se establecían sólidamente en sus nuevos hogares, desde Limerick hasta Kiev, y desde Islandia hasta Sicilia, donde se convirtieron en fervientes cristianos, como aquellos vasallos de Guillermo el Conquistador que erigieron los grandes monasterios normandos en Durham y San Albano. Cuando se hubo convertido ya Europa en lo que conocemos como la Cristiandad los tiempos estuvieron maduros para las Cruzadas.

El atractivo de los movimientos de cruzada ha tendido a ocultar con frecuencia su verdadera naturaleza, pues no han sido otra cosa que el momento más dramático de una prolongada y continua interrelación entre el Oriente y Occidente. Tras la caída de Roma la revitalización de la civilización material había dependido en Occidente principalmente de los bizantinos y de otras sociedades tecnológicamente más avanzadas, situadas más hacia Oriente; su influencia sobre los pequeños y belicosos Estados que surgieron en Europa de las invasiones bárbaras se

difundió más gradualmente y de manera menos manifiesta, pero no menos profunda, que la que la Europa occidental ejerció a su vez sobre el continente americano. Es todavía un misterio saber, por ejemplo, hasta qué punto llegó a través de los pueblos de las estepas y por qué rutas. La abierta frontera asiática proporcionó sin duda un medio de relacionarse con la civilización china, tecnológicamente muy fecunda: parece probable que la collera, el pretal, la ballesta, el estribo, e incluso la carretilla, hicieron una discreta entrada en Europa occidental por esta ruta. De todos modos, podemos describir con más seguridad nuestras deudas tanto con el mundo bizantino como con el islámico.

Constantinopla, que era la terminal de una antigua ruta de la seda que partía de China, era el centro natural de difusión de las técnicas del Oriente Lejano, incluso de las más celosamente guardadas, como las relacionadas con la cría del gusano de seda, cuyos huevos se introdujeron de contrabando, con éxito, durante el reinado de Justiniano I. Constantinopla sirvió asimismo de intermediaria a los conocimientos del Oriente Medio tanto en tiempos de la Persia sasánida (p. 37) como durante la expansión del Islam, y hasta la caída final del Imperio de Oriente en 1453. Por último, sin que sea por ello menos importante, el amplio muestrario de artes y técnicas que Roma había heredado del Oriente Próximo se replegó de nuevo hacia Oriente, y sobrevivió durante los siglos oscuros al abrigo de la nueva Roma del Bósforo.

La influencia bizantina sobre Occidente presentó diversos aspectos. En las regiones del sur de la península itálica, bajo el control directo de los bizantinos, establecidos por los ejércitos de Justiniano en el 536, duró cinco siglos. Aproximadamente en la misma época Constantinopla era el gran centro mercantil del Mediterráneo, controlando una red de rutas romanas, del mar Negro y de Levante. Además, al ser con gran diferencia la más importante ciudad

del mundo cristiano, fue su centro de atracción natural. Del Imperio de Oriente los pueblos de Occidente recibían mosaicos, sedas, marfil, cristal y orfebrería egipcia y siria, superiores a todo lo que ellos hubiesen podido imaginar. Incluso sus flaquezas contribuyeron a expandir la influencia de Bizancio hacia Occidente, cuando los artesanos emigraban a causa de un cisma religioso o de una guerra perdida, o cuando, como veremos, los Estados del norte de Italia hallaban en las Cruzadas su oportunidad para saquear las riquezas del Oriente.

Con respecto al Imperio bizantino, el poderío islámico representó una fuerza destructiva. Siete siglos transcurrieron entre el primer asedio de Constantinopla por los infieles y el triunfo de éstos en 1453, y durante ellos la supervivencia se debió en parte a las ventajas tecnológicas: soberbias fortificaciones para una capital situada estratégicamente, ejércitos magníficamente equipados, con ingenieros, e incluso ambulancias, y el terror inspirado por el misterioso «fuego griego» (p. 388), hasta que los musulmanes aprendieron a lanzar el fuego de los cristianos. Sin embargo, respecto a Occidente, la influencia del Islam ha de ser considerada fundamentalmente como constructiva. Si bien hasta los siglos IX y X —cuando Bagdad y Bujara surgen en Oriente, y Córdoba y Sevilla en Occidente— la civilización islámica no alcanzó su punto álgido ni marcó su impronta en Occidente, ya desde mucho antes la enorme extensión de los territorios dominados por los musulmanes había favorecido de modo natural un aumento del comercio. Importaban de buena gana esclavos (generalmente, eslavos, cuya captura y compra al otro lado del Elba no eran consideradas pecado para un cristiano), metales y maderas de Europa occidental. Los europeos occidentales recibían a cambio mercancías de superior calidad, elaboradas con materiales conocidos, tales como el vidrio y el cuero, y con materiales completamente nuevos, suministrados por una sociedad que estaba mucho más avanzada eco-

nómicamente que la suya. Occidente consiguió asimismo el tan ansiado suministro de oro, extraído, sobre todo, en los dominios de la Media Luna: el *dinar* islámico, como el *aureus* bizantino, se usó en la Europa occidental como moneda fuerte, y más tarde se hallarán depósitos de monedas en lugares tan remotos como Suecia. No obstante, a la larga, la civilización islámica, como veremos, iba a ofrecer, más que a recibir, y la balanza monetaria volvió a inclinarse hacia el este, como bajo el primer Imperio romano.

La civilización islámica aunó tres ventajas. Se hallaba en contacto directo con el Oriente Lejano, de donde venían materiales como el acero de alta calidad, la seda, el papel y la porcelana, y técnicas valiosas, como el sistema indio de numeración, al que aún llamamos arábigo. Fue asimismo heredera indirecta de Grecia, al haber invadido Siria, Egipto y otras regiones del Oriente Próximo, donde, por ejemplo, las obras de Aristóteles eran aún capaces de estimular la investigación. En tercer lugar, la religión islámica, a diferencia del catolicismo medieval, no hizo nada por sofocar el espíritu de investigación científica: de ahí provienen sus notables hallazgos en química, que fueron transmitidos a Occidente bajo el nombre de alquimia. Desde Basora a Córdoba surgieron grandes universidades siglos antes de que apareciera el primer *studium generale* en la Cristiandad: hacia el año 1000, Córdoba poseía una biblioteca catalogada de 600.000 volúmenes. La artesanía del mundo árabe estaba a la par con su saber: por ejemplo, cuando los normandos construyeron la gran catedral de Durham sobre los restos de San Cutberto, el más alto honor que pudieron rendir al santo fue inhumar sus huesos en una pieza de seda procedente de Mesopotamia, adornada —si bien, felizmente, los devotos del santo lo ignoraban— con un texto sagrado del Corán.

La geografía, la tradición y los éxitos militares se combinaron para dar a Italia el papel de interme-

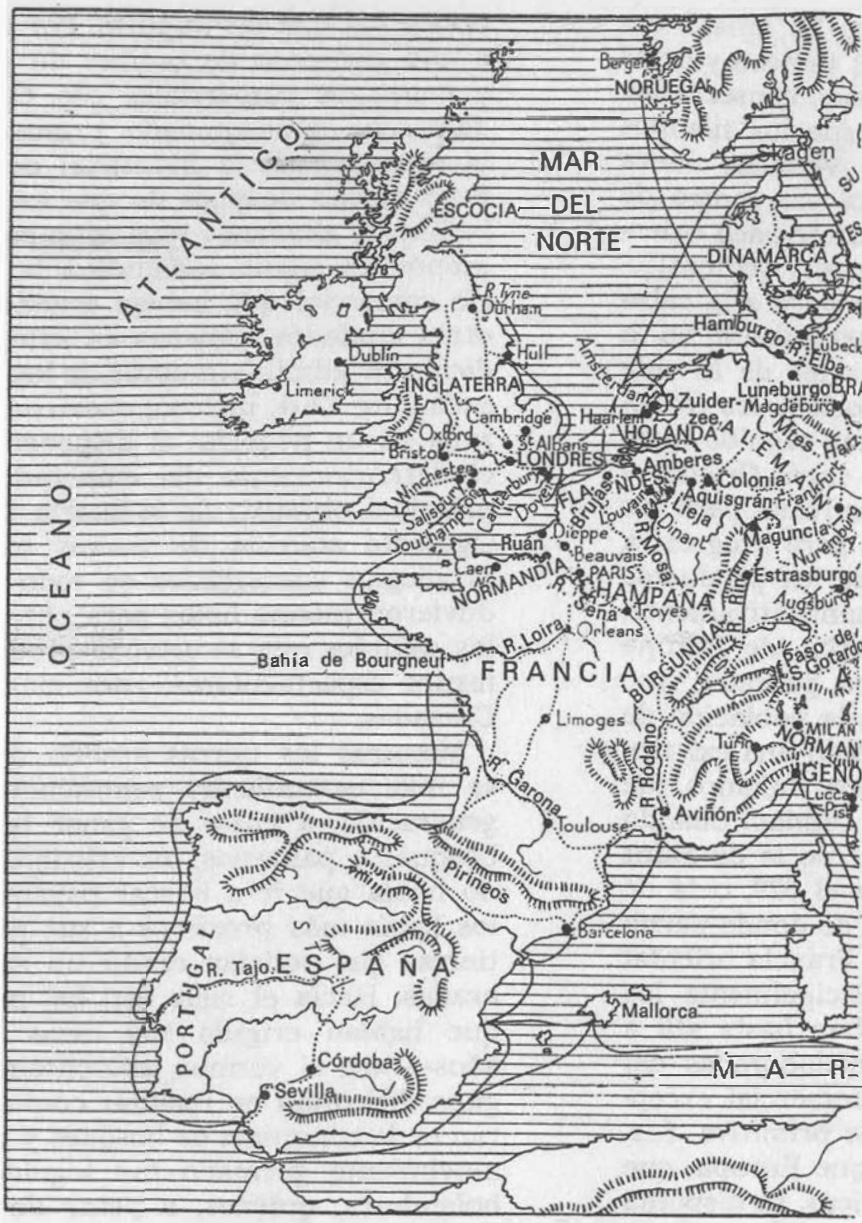


Fig. 7. Rutas comerciales medievales, c

on los nombres citados en el texto.

diaria entre Oriente y Occidente (fig. 7). Amalfi era casi una avanzada de Constantinopla; Génova y otras ciudades, tanto del norte como del sur, conservaban parte de su actividad económica desde los tiempos clásicos; en el siglo VI se les unió Venecia, nueva ciudad, admirablemente situada para ser centro de redistribución entre la costa del Mediterráneo oriental y el *hinterland* de la Europa central y septentrional. En la Alta Edad Media, Italia se puso a la cabeza de los países occidentales en la agricultura, en la industria textil y en otras muchas artes de la vida urbana. Tras la caída de Roma, los orientales (conocidos todos ellos como «sirios») habían seguido manteniendo un fragmentario comercio entre Oriente y Occidente, tal como éste había sobrevivido, pero los italianos los sustituyeron en la lenta pero progresiva distribución en Europa occidental de los productos de superior calidad de Oriente. Cuantitativamente, sin lugar a dudas, el principal comercio de Europa occidental era el de alimentos —grano, pescado, vino y productos lácteos—, sin los cuales la población de numerosas regiones hubiesen arrastrado una existencia miserable, pero por medio de los italianos fue posible acceder a mercancías de alta calidad. Cuando aparecieron las ferias comerciales, como la de Saint Denis, en París, que existía ya hacia el 629, o la de Troyes, en el condado de Champaña, de donde partía una ruta terrestre que atravesaba la Francia oriental hasta Génova y Florencia, eran principalmente los comerciantes italianos los que llegaban hasta allí a comprar las materias primas o semielaboradas del norte. Tales ferias, de importancia comercial excepcional en una economía generalmente primitiva, fueron multiplicándose en la época en que Europa, que se recuperaba de las invasiones nórdicas, se disponía a unir sus fuerzas para las Cruzadas.

Lo que hemos dicho quizá permita ver desde una perspectiva más adecuada los efectos que tuvieron las cuatro principales cruzadas, entre 1097 y 1204, sobre el desarrollo material de la sociedad europea

occidental que las impulsó. Por un lado, dieron lugar a una corriente de botines de guerra, nuevas ideas y contactos comerciales con Oriente: las palabras damasco, damasquinado y muselina nos recuerdan la preponderancia industrial de Damasco y Mosul. Pero mucho después de que los cruzados franceses, ingleses y alemanes reposaran en sus tumbas, la vida económica siguió sometida a la influencia del poderío comercial que habían erigido Venecia, Génova y otras ciudades italianas en este tiempo, en su condición de administradoras de los negocios de las Cruzadas. En 1204, incluso, convirtieron a la propia Cruzada en un negocio, al disponer los venecianos que el destronamiento del emperador oriental fuera el principal objetivo de la cuarta Cruzada, con la consiguiente anexión de nuevos territorios, botines y privilegios comerciales en todo el Imperio. No anduvieron menos listos para obtener un beneficio de los cambios que se estaban produciendo en el norte, menos espectaculares, pero más duraderos que las Cruzadas.

Mientras las tierras arables del norte de Europa se iban extendiendo penosamente, generación tras generación, a costa de ganar terreno duramente a bosques o pantanos, los cristianos descubrieron que no había que ir a buscar paganos a Palestina, pues los había más próximos a sus propias fronteras, en tierras que podrían rendir un rápido fruto una vez aradas. Hacia el siglo XII, los monjes cistercienses, que habían erigido sus casas —328 en cuarenta años— «en el yermo», aparentemente no tenían ninguna dificultad en reclutar conversos que les ayudaran en la conquista de bosques y pantanos. El secular movimiento germano fue seguido también por los holandeses, quienes, a pesar de los numerosos esfuerzos para desecar las tierras costeras inundadas, fueron expulsados en masa, y, por consiguiente, se diseminaron a lo largo de las costas pantanosas del sur del Báltico. De esta forma comenzó la gran pugna de los teutones contra los eslavos, en la cual las

armas defendían los intereses de la religión, y las migraciones preparaban la vía al comercio. Tal vez el arado de desfonde fue el instrumento más importante que los germanos introdujeron en las tierras eslavas al este del Elba, donde hasta entonces el suelo había sido únicamente escarbado con el *uncus* curvo; pero también introdujeron el hacha pesada, las ovejas, la viña y la rueda hidráulica. Sólo en Silesia y Prusia, por no contar a Polonia, Bohemia y Hungría, se fundaron nuevas ciudades a un ritmo de una docena por año; los mineros y los salineros siguieron las huellas de los agricultores. Hacia 1250 —mientras las tierras eslavas menos afortunadas, situadas más al este, quedaban sometidas a la férula de los mongoles— el trigo de Brandemburgo se exportaba a Inglaterra, y el Báltico se convertía rápidamente en la segunda vía comercial del mundo medieval.

LA BAJA EDAD MEDIA

Se ha afirmado que la Baja Edad Media representa, probablemente, uno de los más decisivos giros de la historia de la civilización de la Europa occidental. Durante los doscientos años que precedieron al estallido de la Peste Negra en 1348 hubo una expansión comercial comparable, por sus profundos efectos, a la revolución industrial de fines del siglo XVIII. El papel que desempeñó Inglaterra en esta última revolución fue idéntico al que representaron en la primera los Estados italianos; será por ello conveniente considerar en una breve panorámica su posición dominante como característica final.

Tal vez el aspecto más sorprendente del período sea el crecimiento de la población, la cual se elevó rápidamente hacia su punto de saturación bajo las condiciones existentes en toda Europa, al menos hasta el oeste del Elba. París era la metrópoli indiscutible del norte, y rivalizaba en tamaño con las ciu-

dades del norte de Italia; la mitad de los habitantes de Flandes y Brabante vivía en ciudades. Hacia 1300 la presión sobre la producción de alimentos había causado la desaparición del barbecho en muchas partes de Flandes y la conclusión de los trabajos del sistema de diques en Holanda. Extensas áreas, incluyendo la casi totalidad de Francia, soportaban ahora el máximo de población —cerca de 38 habitantes por km²— de que era capaz la agricultura medieval. Debe recordarse que el rendimiento medio del centeno y del trigo era entonces de sólo un quíntuplo; el de la avena y cebada, de algo menos del cuádruplo; la ganadería estaba limitada todavía por la escasez de pastos de buena calidad, y sólo en el siglo XV los progresos en el trabajo del hierro permitieron usar un instrumento agrícola adicional tan sencillo como la horquilla de tres puntas.

Por lo que concierne a las técnicas industriales, existe un marcado contraste con la sociedad agraria primitiva de los siglos oscuros. Se construyeron grandes iglesias góticas (fig. 8), en las que las figuras esculpidas parecían observar desde las alturas, o destacaban entre las sombras, y la luz del sol que se filtraba a través de las vidrieras parecía exhalar un brillo espiritual y físico a un tiempo. Asimismo, y por lo que respecta a la arquitectura secular, la maestría de los albañiles iba llenando el paisaje de castillos de piedra, aunque los nobles húngaros del siglo XII aún vivían en chozas de cañas, y los castillos de madera no desaparecieron de Escocia hasta el XV. Tras los albañiles venían los constructores de molinos. La Inglaterra del *Domesday Book* (1086) ya molía el grano en unos 6.000 molinos de agua; hacia mediados del siglo XII los molinos de viento habían llegado también a Europa, y la fuerza hidráulica se aplicaba a nuevas finalidades, en especial para batanar los tejidos. Pero los avances probablemente más importantes, al menos por lo que respecta a Europa, fueron los nuevos métodos de explotación de minas, extracción y trabajo de los metales. Las minas de

F 73852

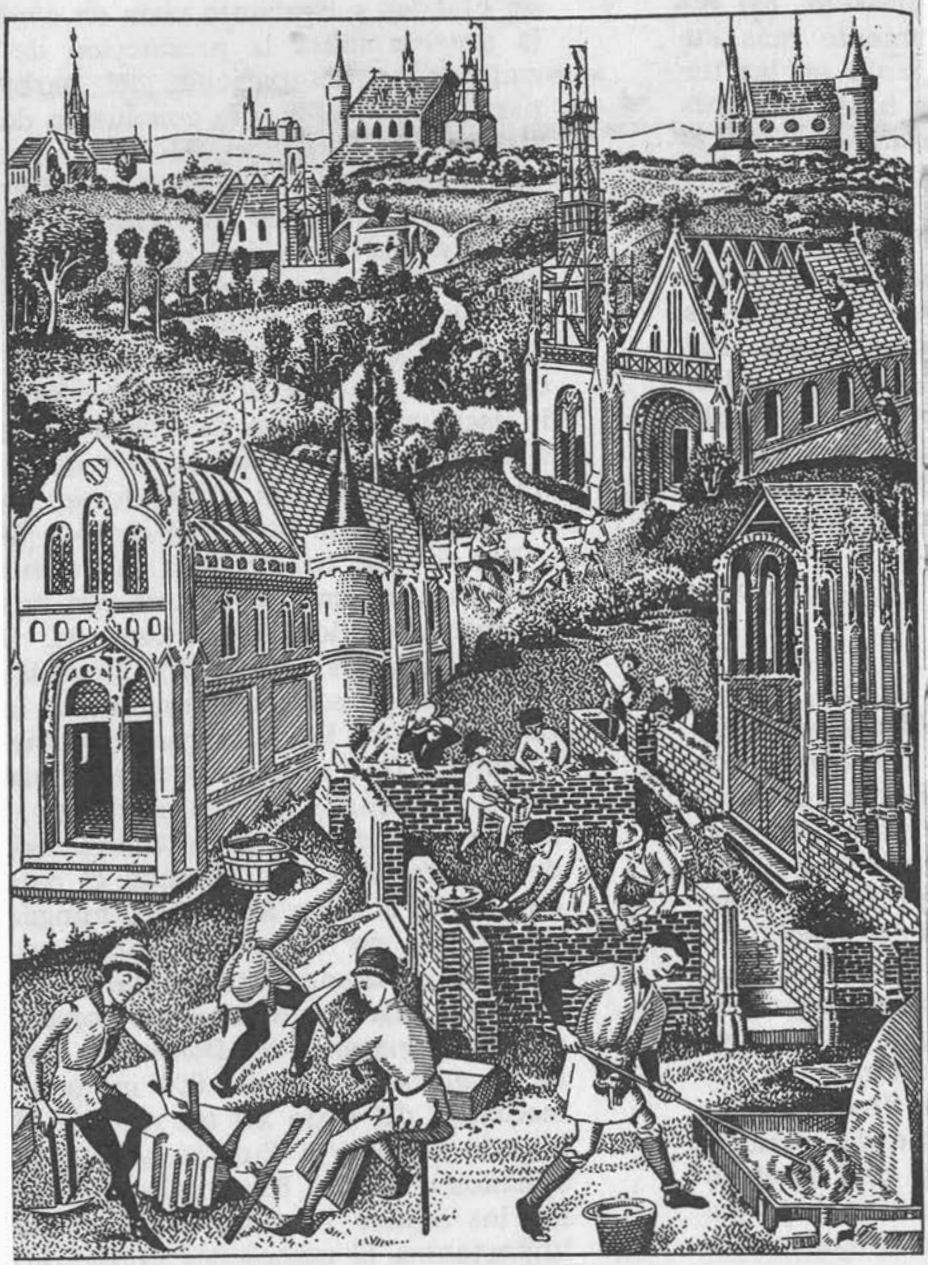


Fig. 8. Edificio eclesiástico en construcción. De una miniatura de 1460.

plata conocieron gran auge en Hungría, Bohemia, Sajonia y el Harz, mientras que comunidades de mineros libres, muy dispersas, trabajaban también los metales básicos: Colonia y Dinant, por ejemplo, se hicieron famosas por sus campanas y otros productos de cobre y bronce, y el valle del Mosa, por su cuchillería, ferretería y armas.

En la Edad Media el comercio dominaba a la industria, y, como hemos visto, los italianos dominaban el comercio. Las seis ferias de Champaña, que en el siglo XII se sucedían a lo largo del año, de enero a octubre, y luego las tres grandes ciudades textiles de los Países Bajos, fueron los primeros centros a los que llegaron los comerciantes italianos. Por ello la ruta del sur, a través de Francia, era de importancia fundamental, aunque de las regiones situadas al este del Rin llegaban otras corrientes comerciales a Italia, a través de los puertos alpinos. Hacia fines del siglo XIII, sin embargo, el condado de Champaña fue anexionado por el reino de Francia, cuya política puso trabas al comercio, de tal modo que gran parte de éste hubo de hacerse por mar: las grandes galeras genovesas y venecianas iniciaron una serie de viajes anuales desde el Mediterráneo a los puertos de los Países Bajos y de Inglaterra, donde, por su eslora, predominaron sobre los barcos del norte. Imitadores suyos fueron los mercaderes de la Liga Hanseática, que en el siglo siguiente unieron los puertos del Báltico y la costa occidental de Escandinavia con los mercados de Alemania, de los Países Bajos y de Inglaterra: sus depósitos londinenses del Steelyard no se clausuraron hasta 1597. Con todo, es significativo que la Hansa no intentase penetrar hacia el oeste más allá de Brujas, punto donde se detenían las galeras italianas.

Es probable que los dos hechos menos conocidos respecto a Italia en este período sean su control financiero sobre Inglaterra, que atestiguan aún los nombres de florín y Lombard Street, y su relación con China, iniciada con los viajes de la familia Polo:

el primero es una muestra de la sociedad burguesa, que apareció en Italia por primera vez, y que ha influido en Europa hasta el día de hoy; el segundo nos ilustra sobre la enorme expansión de los intereses comerciales italianos (fig. 9). Pero hubo otros muchos aspectos en los que los italianos se anticiparon ya al mundo moderno. La enseñanza de la medicina en la Universidad de Salerno fue una de las bases principales de la ciencia del Renacimiento, y la primera de las cartas marítimas que han llegado hasta nosotros proviene de Pisa. Se produjeron tam-

Fig. 9. Caravana de Oriente, tal como aparece en el Atlas catalán de 1375.

bién grandes mejoras en la tierra: el Gran Canal de Lombardía, por ejemplo, irrigaba cerca de 35.000 hectáreas. La confección, el teñido y el acabado de las telas más bastas, provenientes de la Europa septentrional, así como su comercialización —que servían para pagar los productos alimenticios que se importaban con destino a una población en continuo aumento—, se llevaban a cabo utilizando métodos modernos; ya en el siglo XVI los Fugger de Augsburgo fueron a Italia para llevar a cabo su aprendizaje financiero. Los italianos eran famosos como fabricantes de papel y como armeros, vidrieros y torcedores de seda, por avanzadas técnicas. Venecia se adelantó a varias de las reformas de épocas poste-

riores con una disposición sobre el trabajo infantil en las industrias peligrosas y por la institución de una línea de carga máxima para sus envíos marítimos. Milán y Venecia podían mantener a una población de unos 200.000 habitantes cada una, y Florencia, Génova, y probablemente Palermo y Nápoles, de unos 100.000, mientras que en esa época no había surgido ninguna gran ciudad en el norte, salvo París (tales estimaciones se refieren al período inmediatamente anterior a la Gran Peste). Además, no es arriesgado decir que el nivel de vida medio de estas grandes concentraciones humanas era más alto que en el norte, aún fundamentalmente agrícola. Esta Italia conoció —entre otros aspectos— las vidas y los escritos de Tomás de Aquino y de Dante.

Con todo, hacia mediados del siglo XIV, la Alta Edad Media de la Europa occidental dio paso a un período de declive. La Gran Peste de 1348 fue una catástrofe social sólo parangonable a las dos guerras mundiales de nuestros días, y éstas, como es preciso recordar, se produjeron en una época en la que es posible reparar las pérdidas materiales en una medida inconcebible para el hombre medieval. Si en dos años murió un tercio de la población —ésta parece ser la cifra más próxima a la realidad—, es fácil comprender que la agricultura, base de las demás industrias, debió de sufrir un tremendo deterioro. Hacia 1348 la superficie cultivada había alcanzado niveles que no se ampliaron de modo apreciable hasta los años de la revolución industrial, salvo en ciertos aspectos menos importantes, como la sustitución, en Alemania, de buena parte de los pastos de los grandes bosques por prados cultivados; pero el terreno perdido por la agricultura a causa de la Peste Negra tardó por lo menos un siglo en recuperarse. Este siglo, asimismo, coincide con la Guerra de los Cien Años (1337-1453), en la que Inglaterra, y más aún Francia, consumieron y agotaron sus recursos. Así, los informes aduaneros ingleses de 1350-1450, que nos proporcionaron nuestros mejores compro-

bantes estadísticos, muestran que el aumento en la exportación de tejidos, producción derivada de la guerra, no compensó el declive de las exportaciones inglesas de lana. Un declive similar puede observarse en otras grandes industrias europeas, tales como la pesca, la minería y las industrias metálicas, con la excepción significativa del hierro y del armamento.

Si observamos lo que ocurría más al sur, en las regiones mediterráneas, hallamos que estaban entrando en el ocaso de su larga edad de oro. El Imperio oriental no se había recuperado de los años de *dominación latina* que siguieron al saqueo de Constantinopla en 1204, y que dejaron a la dinastía restaurada de Oriente muy resentida por las brutalidades que padeció a manos de Occidente. Al desaparecer su poder, los venecianos, los genoveses y otros lucharon por convertirse en sus herederos occidentales, sin preocuparse por el avance de los turcos otomanos, cuya conquista de Asia Menor y gran parte de los Balcanes prefiguró la caída final de Constantinopla como capital cristiana mucho antes de 1453. Las ciudades de la Italia meridional, como las del sur de Francia, se encontraban en decadencia desde hacía largo tiempo. Las de Italia septentrional —Florencia, Milán y otras—, como las grandes ciudades marítimas mercantiles —Venecia y Génova—, todavía mantuvieron su preeminencia en la industria, el comercio y las artes. Financieramente eran muy fuertes, pero, como Gran Bretaña en el último cuarto del siglo XIX, se veían impulsadas por la inercia de sus éxitos pasados más que por nuevos progresos económicos. Mientras tanto, el surgimiento de Barcelona como competidora comercial anunció el crecimiento del poderío español. De mayor significación aún fueron los viajes de las nuevas carabelas portuguesas, que hacia 1450 habían llegado a la desembocadura del río Gambia, en dirección al océano Indico, y la intercepción de ese comercio terrestre proveniente de Oriente que había confirmado al Mediterráneo y a sus ciudades en su larga preponderancia.

EL RENACIMIENTO

La apertura por los europeos de las rutas oceánicas al comercio y a la conquista, que se inició cuando el portugués Bartolomé Díaz dobló el cabo de Buena Esperanza en 1487, es solamente el último, y quizá el más dramático, de una larga serie acumulativa de cambios. Entre éstos, la introducción de la imprenta en Europa hacia 1450 es, con mucho, el más importante; la rápida difusión de lo que se conocía como «arte alemán» —hacia 1500 existía un centenar de imprentas alemanas en Italia y treinta en España— nos muestra una Europa que estaba ya madura para un ulterior e inmenso desarrollo. Los logros artísticos del Renacimiento, y aún más la tecnología y los conocimientos de los que dependían el arquitecto, el escultor y el pintor, podían describirse por medio de la imprenta. El interés por las obras y las ideas de la Antigüedad, en la que se inspiró personalmente el Renacimiento, había ido aumentando lentamente durante los últimos siglos de la Edad Media. La mentalidad de la época se hallaba preparada ya para pasar de la imitación a la creación y de los estudios humanistas a la investigación científica independiente.

El enorme y persistente impacto que todo ello tuvo sobre la Europa occidental, en conjunto, fue en buena parte el resultado de los nuevos medios de difusión de los conocimientos. Esto es importante, sobre todo, para la historia de la tecnología, ya que los genios italianos del Renacimiento se situaron por encima del antiguo esnobismo que había menospreciado las artes mecánicas. Basta mencionar los nombres de Verrocchio, escultor y anatomista, platero, ingeniero y lapidario; de Alberti, con su interés por todo lo referente a las ciencias aplicadas; de Miguel Angel, defensor de Florencia con su maestría en el arte de la fortificación, y sobre todo de Leonardo de Vinci, que investigó las verdades últimas de la mecánica, a

la vez que condescendía a llevar a cabo invenciones tales como una práctica sierra para mármol, o una máquina para fabricar maromas. Al mismo tiempo la imprenta resaltó la necesidad de un sistema de patentes, que fue introducido por primera vez en Venecia en 1474. De aquí pasó a Florencia y a otros estados italianos, y fueron en su mayor parte vidrieros italianos (p. 161) los que en el siglo siguiente llevaron su práctica a otros lugares de Europa. En Inglaterra la primera patente data de 1552; el abuso que de ella hizo la Corona mediante la emisión de concesiones de monopolio, a fin de recaudar dinero, provocó la importante ley de 1624, que acabó con los abusos, pero dejó a la Corona en libertad para conceder derechos exclusivos bajo patente de privilegio por no más de veintiún años al «primero y verdadero inventor (o inventores) de manufacturas». De este modo Inglaterra, y después de 1707 Escocia, comenzaron a conceder un franco estímulo legal a los inventores, en tanto que otros estados, incluyendo los italianos en decadencia, frecuentemente otorgaban derechos exclusivos, basados en los favores principescos, más que en la innovación técnica.

La decadencia, de la que la patria del Renacimiento no se ha recuperado nunca del todo, data de las guerras de Italia entre Francia y España, que duraron dos tercios de siglo. El hecho de que Carlos VIII de Francia lanzase en 1494 la primera de estas invasiones sucesivas de Italia con lo que se ha llamado el primer ejército moderno, excelentemente pertrechado con artillería, nos recuerda que la introducción de explosivos en la guerra es el segundo cambio tecnológico característico de este período (fig. 10). Pero las armas de fuego, al contrario que la imprenta, tardaron cierto tiempo en alcanzar su plena eficacia: el cañón entró en combate en la batalla de Crécy, en 1346, si bien el arco no fue descartado definitiva y oficialmente por los ingleses hasta 1595. El desarrollo de la nueva arma estaba estrechamente relacionado con el incremento de la minería y de la

industria metalúrgica, progreso que dio a la Europa central, y en particular a la Alemania meridional, un contrapeso a los logros del Renacimiento italiano en el sur. La explotación más intensiva de las minas de plata hizo que los suministros alemanes de este material casi se quintuplicasen entre 1460 y 1530, convirtiendo a los Fugger de Augsburgo en la familia más rica del mundo occidental. De modo semejante, los trabajos metalúrgicos descritos en estas fechas por el alemán Agrícola (p. 205) representaban concentraciones hasta entonces desconocidas de capital y trabajo en una sola instalación industrial.

Fig. 10. Colocación de cañones para un asedio. Ramelli, 1588.

Agrícola (Georg Bauer) nació dos años después de que Colón descubriera América y abriera nuevos y amplios campos a la explotación europea, cuyos instrumentos no eran tan sólo los barcos que surcaban el océano y los nuevos aparejos náuticos, sino el cañón, el fusil de chispa y la hoja —perfeccionada— de acero occidental. En dos generaciones, los navegantes, bajo los auspicios de Portugal y España, dieron la vuelta al mundo, organizaron las ricas rutas comerciales desde el Oriente Lejano y destruyeron los imperios azteca e inca. Las consecuencias inmediatas fueron impresionantes. Afluyeron a Europa

nuevos productos alimenticios y nuevas materias primas, en tanto que el conocimiento de horizontes remotos estimulaba enormemente la vida intelectual e imaginativa. Hay que añadir el tremendo impacto de los tesoros arrebatados en la conquista o tomados más tarde de las minas peruanas y mejicanas.

Entre 1521 y 1660 las importaciones oficiales españolas fueron de 200 toneladas de oro y 18.000 de plata, lo que asfixió a la producción europea, que decayó después de 1550, y a los contingentes africanos de estos metales. Ayudada en parte por devaluaciones de la moneda, como las practicadas por Enrique VIII y el *protector* Somerset en Inglaterra, la difusión de los tesoros españoles por Europa ocasionó una revolución en los precios, que duró hasta 1650 aproximadamente. En el segundo cuarto del siglo XVII los precios del trigo en la Europa central y occidental eran cuatro veces más elevados de lo que registraba la media cien años antes. El enorme y persistente aumento de precios causó gran daño a los individuos, pero la tendencia de los salarios a rezagarse ofreció un amplio incentivo a la expansión industrial, tal como se conoció, por ejemplo, en la Inglaterra isabelina. En la misma España el atraso fue menor que en otros lugares, y la expansión, lógicamente, más lenta; con todo, se sabe de ciudades típicamente industriales que duplicaron su población entre 1530 y 1594, mientras que el puerto de Amberes, bajo dominio español, llegó a su cenit como mercado mundial antes del estallido de las luchas religiosas de los Países Bajos en 1566.

De todos modos, los estados de la península ibérica no retuvieron su primacía por largo tiempo. Portugal, con una base territorial y una población menores que las de España, cayó rápidamente de la posición que había mantenido en 1493, cuando el Papa intentó repartir entre los dos países el mundo recién descubierto, dividiéndole en dos mitades, una al este y otra al oeste. Hacia 1540 el bloqueo portugués del mar Rojo, que aseguraba el monopolio del

comercio de especias a través de la ruta del cabo de Buena Esperanza, se mostró ineficaz, y la pimienta y otras mercancías orientales volvieron a entrar en Europa por las costas del este del Mediterráneo, en provecho de Venecia y de otros puertos italianos y franceses. Cuarenta años después Portugal y su imperio del este fueron incluidos (hasta 1640) entre las posesiones de la Corona española. Respecto a España, inmediatamente después de su Siglo de Oro vino un siglo de decadencia, marcado por un descenso de la población, disminución de industrias e inestabilidad financiera, mientras que los viajes de Colón y Magallanes, y las campañas de Cortés y Pizarro, ayudaron al surgimiento de otras potencias, en su mayoría herejes.

EL SURGIMIENTO DEL MUNDO MODERNO

España había estado en primera línea durante las guerras de religión, que empezaron cuando el Renacimiento contribuyó a avivar la chispa de la Reforma luterana en la Alemania de Carlos V, y alcanzaron su máxima ferocidad en los Países Bajos españoles, que quedaron divididos de manera irremediable en una Holanda ampliamente calvinista y una provincia española católica, la futura Bélgica, con su puerto de Amberes ya en declive. Hacia 1600, los holandeses habían conseguido prácticamente ser independientes, y por la misma época sus correligionarios calvinistas de Francia, los hugonotes, consiguieron, al término de nueve durísimas campañas militares, ser beneficiarios de una tregua religiosa. La lucha comenzó a perder su carácter religioso, si bien el destino de la Reforma, en Alemania, sólo se determinó en la Guerra de los Treinta Años (1618-1648).

En el campo de la tecnología estas guerras no produjeron importantes progresos, si bien la intervención de los suecos en Alemania bajo Gustavo Adolfo, con artillería de campaña móvil y mejores mosque-

tes, nos recuerda que el poco conocido país del que venían estos defensores del protestantismo era rico en hierro y cobre, aunque no en muchas cosas más. Pero un hecho notable respecto a estas guerras y a la dura confrontación de ideas de las que habían surgido es que no mostraron ser incompatibles con un crecimiento simultáneo de la población y de la riqueza. Después del gran retroceso de la Peste Negra la población europea había comenzado a aumentar de nuevo hacia fines del siglo XV; hacia 1600 se cree que llegó a los 95 millones, y hacia 1700, a los 130 millones, habiendo disminuido el ritmo de crecimiento a mediados de siglo. En la historia particular de cada país la evidencia del progreso económico, que no acompaña necesariamente al aumento demográfico, es igualmente considerable. En Inglaterra, por ejemplo, la disolución de los monasterios por Enrique VIII, que puso la tierra rápidamente a disposición de los empresarios, y que coincidió con el comienzo de una fase ascendente en el aumento de precios, señaló el principio de un período de rápido desarrollo en la minería, en la fabricación de vidrio, de jabón y de otras industrias. Las guerras civiles supusieron un fuerte freno, aunque en tiempos de la revolución de 1688 la producción anual de carbón —artículo muy significativo— se acercaba a los tres millones de toneladas, lo que representa un aumento de catorce veces en 140 años. En Francia la tregua religiosa de 1598 fue seguida inmediatamente de grandes progresos en la agricultura, las comunicaciones y el comercio, asociados a los nombres de Enrique IV y de su ministro Sully. En Holanda, una población de menos de dos millones y medio de habitantes erigió el único nuevo Estado de la época sobre la base de la riqueza comercial acumulada durante su lucha por la independencia. Ahora los holandeses eran los primeros en lo referente a construcciones navales, transportes mercantiles, organización de mercados de redistribución y adaptación de nuevas ideas a la industria. Incluso Alemania, que

había sido combatida de modo tan duro y repetido, parece haber padecido sus peores pérdidas a causa del desvío de las rutas comerciales europeas, aunque logró conservar energía y recursos suficientes para hacer resurgir al puerto de Hamburgo inmediatamente después de la Guerra de los Treinta Años.

La segunda mitad del siglo XVII lleva el sello de la monarquía de Luis XIV, con su palacio de Versalles como modelo de los reyes y cortesanos de cada país, y con su ministro Colbert, esforzándose por activar todas las industrias y comercios al servicio del Estado, como ejemplo de sabiduría política. Sin embargo, la magnificencia de los tapices gobelinos y los conocimientos que difundieron desde Francia los hugonotes expulsados en 1685, no deben ocultarnos los logros más sólidos, aunque también a veces más monótonos, de las tenaces sociedades burguesas de Inglaterra y Holanda: ningún resultado decisivo derivó de las tres guerras anglo-holandesas, pero como aliados, ambos países fueron capaces al fin (1713) de imponer su voluntad al monarca francés. Esta fue la época del primer contacto eficaz de Rusia con la tecnología más avanzada de Occidente, cuando Pedro el Grande hizo sus célebres visitas a los mercaderes de Amsterdam y a los constructores de buques de Deptford. Y fue asimismo la época en la que la tecnología más avanzada estaba intentando ponerse en contacto con la ciencia; y aunque la Royal Society de Londres tuvo su paralelo en la Académie des Sciences francesa, fundada por Colbert, y en algunas otras instituciones europeas más antiguas, tales como la Accademia dei Lincei en Italia (1603), no existió nadie igual a Isaac Newton, que «viajaba en solitario por extraños mares del pensamiento».

Aun así, debemos tener cuidado para no caer en la tentación de sobreestimar los comienzos del acercamiento entre la ciencia y la tecnología, a causa de la enorme importancia de sus consecuencias aun en nuestros días. El nacimiento del espíritu científico fue una característica notable del Renacimiento: los

hombres dejaron de aceptar a ciegas las opiniones de los antiguos referentes al universo y a las leyes que rigen el mundo natural; el dogma fue sometido a la experiencia, y cuando no superó la prueba, fue rechazado y se formularon nuevas teorías. Había nacido, así, la ciencia en el sentido moderno de la palabra, y se hicieron rápidos progresos en matemáticas, física, química y biología. Pero las consecuencias inmediatas para la tecnología permanecieron confinadas a unos pocos campos especializados; de modo principal, el progreso técnico dependía todavía de la utilización de métodos empíricos por hombres prácticos. En conjunto, hasta 1750 la ciencia, probablemente, obtuvo más de la tecnología que ésta de aquélla. Algunas de las excepciones más notables, que consideraremos en capítulos próximos, fueron los instrumentos náuticos, que desempeñaron un importante papel en los grandes viajes de exploración, en la topografía y en la cartografía; la aplicación del principio del péndulo para medir el tiempo; y, en particular, la utilización creciente de la química.

Aun así, el nuevo enfoque de los fenómenos naturales fue tan sólo una manifestación de un sano escepticismo: los procesos técnicos que con frecuencia habían cambiado muy poco durante siglos, fueron cuidadosamente escrutados para ver qué mejoras podrían introducirse. La Royal Society, fundada en 1660 para llevar adelante la investigación de los fenómenos naturales por medio de la observación y de la experimentación, concentró, en sus primeros días, buena parte de su atención en la mejora de las artes e industrias existentes, así como en el progreso del conocimiento científico fundamental. Entre las primeras actividades de la Royal Society figuró la fundación del Observatorio de Greenwich, en 1675, con el fin, estrictamente práctico, de «averiguar la longitud, para una perfecta navegación».

Sólo dos generaciones separan la «máquina de fuego» de Newcomen —que, como veremos (p. 452), debe algo al menos al estudio empírico de la presión

atmosférica realizado por los miembros de la Royal Society y por sus colegas del continente— de la máquina de vapor de Watt, mucho más perfecta. Entretanto, la escena política había cambiado desde la destrucción de las ambiciones francesas por la Gran Alianza de Gran Bretaña, Holanda y Austria, en la Paz de Utrecht (1713), hasta la consumación de las ambiciones británicas en la Paz de París (1763). La Gran Bretaña que había conquistado Canadá y Bengala estaba tomando la delantera rápidamente a una Holanda estancada, limitada por su escasez de materias primas y de población; Austria, a cuyas manos habían pasado los Países Bajos españoles, no fue nunca un serio rival comercial; y Francia era el enemigo al que Gran Bretaña acababa de derrotar en ambos hemisferios.

No obstante, es erróneo considerar los reinados de los dos primeros Jorges como la etapa en la que Gran Bretaña se ganó el derecho por adelantado a los beneficios de un progreso técnico más rápido en el período siguiente. En verdad, si un contemporáneo hubiese hecho suya nuestra idea de una revolución industrial inminente, habría tenido buenas razones para anticipar el lugar de su eclosión en cualquier lugar que no fuera Gran Bretaña. Francia, con una población tres o cuatro veces mayor que la británica, seguía obteniendo grandes beneficios del algodón y del hierro; en la construcción de buques de guerra, en la que tenían ambos sumo interés, la técnica francesa era tan superior que un barco francés de cincuenta y dos cañones se estimaba igual a uno británico de setenta cañones. Rusia producía más hierro fundido que Gran Bretaña, y esto sin hablar de Suecia, que estaba entonces a la cabeza de los países fundidores de hierro de Europa, tanto en cantidad como en calidad. Holanda seguía siendo el principal país acreedor y una importante fuente de recursos para los adelantos agrícolas británicos; de fuentes holandesas procedían también los progresos de las universidades escocesas, principalmente en medici-

na y química. Las sociedades para el desarrollo industrial que habían surgido en Londres, Birmingham y Manchester hacia mediados de siglo tenían sus homólogas en París y Hamburgo. Francia competía con Gran Bretaña en la fabricación de telas cada vez más ligeras, destinadas a complacer a los refinados compradores de las ciudades y a remotos mercados tropicales, como los del Oriente Lejano. Por lo que concierne a las exportaciones globales, mientras las de Gran Bretaña aumentaron de ocho a quince millones de libras esterlinas cada año entre 1720 y 1763, durante el largo período comprendido entre 1716 y 1787 el total del comercio exterior francés aumentó casi tan rápidamente como el británico.

¿Cuáles eran los factores que señalaban ya a Gran Bretaña, más que a cualquier otro país europeo, como el país destinado a ser la cuna de la revolución industrial? La respuesta depende en parte de hechos muy alejados de la tecnología, como la libertad religiosa que introdujeron los hugonotes y otros refugiados junto con sus numerosas artes, y que dio ánimos a los capitalistas puritanos. Se respiraba una actitud de confianza, natural en un pueblo insular que había dejado de pensar seriamente —salvo a lo largo de unas pocas semanas de tensión en 1745— en la perspectiva de una invasión. En la isla había notables estímulos para el comercio debido a su larga costa y a sus ríos generalmente navegables: la importancia de los segundos en lo referente al transporte terrestre puede juzgarse por el hecho de que no se esperaba que un ejército del continente, en estos años, pudiese operar a más de quince millas de distancia de las orillas de un río. Además, la *Union Act* de 1707 había hecho de Gran Bretaña una sola unidad económica, mucho antes que cualquier otro país de riquezas y recursos comparables dejara de estar dividido por numerosas barreras aduaneras. Pero, aun tras la integración de los escoceses, la exigüidad de la población, si la comparamos con la de Francia,

fue al mismo tiempo un incentivo importante para el uso de sistemas que ahorraran fuerza de trabajo.

Finalmente, existía gran cantidad de carbón, fácilmente accesible, que se utilizaba cada vez más, tanto para fines industriales como para fines domésticos, a medida que disminuían las reservas nacionales de madera; sólo en el caso del hierro era difícil aplicar el nuevo combustible a una producción limitada, y esta limitación estaba ya comenzando a desaparecer. Desde 1660 las minas de Gran Bretaña habían producido cinco veces más carbón que el resto del mundo. ¿Qué país, pues, podía aspirar a competir con Gran Bretaña en el desarrollo de una nueva forma de energía que, a diferencia del molino de agua o incluso del de viento, podía en todas partes e invariablemente ser puesta exclusivamente a disposición del dueño o comprador de carbón? La era del vapor dio comienzo poco a poco; pero durante un siglo o más sus diversas aplicaciones en las industrias, el transporte, e incluso la agricultura, sirvieron para aumentar la preponderancia industrial británica, sin paralelo en la antigua historia de Occidente.

2. LA PRODUCCION DE ALIMENTOS

LA DOMESTICACION DE LOS ANIMALES

El paso de la recolección de alimentos a su producción, característico de la etapa neolítica de la historia humana (p. 12), fue consecuencia de un avance fundamental —e incluso podría decirse, sin más, el avance fundamental— en la tecnología. Cada nuevo uso que aprendemos a hacer de nuestro mundo material depende de nuestra capacidad de producir alimentos destinados a una población dada a través de medios que no agoten completamente la energía y el tiempo de dicha población. El cazador no poseía este excedente; fueron el pastor de rebaños y hatos y el labrador de la tierra quienes por primera vez acumularon el excedente que ha sido siempre la base de toda civilización. Tanto en los tiempos antiguos como en los modernos la dieta del productor ha procedido directamente de sus cosechas y de la carne o leche de los animales que en la mayoría de los casos él mismo cría con una parte de los vegetales que cultiva: la proporción de los alimentos que se toman de cada una de estas fuentes varía mucho, tanto en el marco de una misma comunidad como entre dos comunidades diferentes. Aunque esta interacción entre cosechas y rebaños data del período neolítico, sería conveniente considerar primero la domesticación de los animales, porque comenzó algo antes que la agricultura y, lo que es más importante, porque lo fundamental de su historia tecnológica se completó mucho antes.

Dado que los animales domésticos son no sólo fuente de alimentación sino de materias industriales, medios de transporte, recursos energéticos y pro-

tección para el hombre, es fácil exagerar la finalidad de los primeros contactos. A los ojos del salvaje primitivo, el único animal de valor era el animal muerto; sin embargo, la domesticación de algunos animales por el hombre fue resultado natural de la coexistencia. En las mismas regiones que el hombre primitivo vivían ciertos animales que no solían atacarle ni ser atacados por él. En ciertos casos, especialmente en el del perro y el cerdo, los animales tenían interés en asociarse con el hombre primitivo como eliminadores de desperdicios: podían alimentarse con los despojos y las sobras de osamentas, cáscaras y pieles de frutas, y todo aquello que se perdía o desechaba cuando el hombre se trasladaba. A la inversa, el cazador pudo conocer la utilidad de un animal a través de esta cooperación involuntaria: las jaurías de perros salvajes empujaban a la caza hasta ponerla a su alcance, y la cierva situada junto a los campamentos atraía a los ciervos. ¿Cómo surgieron los primeros experimentos de domesticación? El perro es tan sólo un buen ejemplo de los muchos animales cuyas crías se capturaban fácilmente en ausencia de la madre, se criaban sin problemas y —en principio al menos— eran inofensivos, divertidos y dóciles. En el caso del reno, en el que la diferencia entre el salvaje y el doméstico sigue siendo en nuestros días relativamente pequeña, su temprana domesticación puede ser atribuida a otro factor más: las funciones naturales del hombre le convirtieron en proveedor de sal, que faltaba en el agua de nieve, pero que podía conseguirse alrededor de los asentamientos humanos.

Por tempranos que fueran los intentos y los progresos en el camino de la domesticación, en especial por lo que respecta al perro, que podía ser utilizado para la caza, fue la agricultura neolítica la que proporcionó los primeros alicientes de cierta entidad para experimentar la domesticación de otros animales a gran escala. Las nuevas residencias fijas de los humanos facilitaron la protección del ganado y de

este modo pudieron obtenerse plenos beneficios de la multiplicación del número de animales. El barbecho y el rastrojo eran buenos para el pasto, y pronto el hombre cultivó además de cereales para su propia alimentación, plantas forrajeras de fácil obtención para su ganado. Aparte de leche y carne, las ovejas, las cabras y los bueyes proporcionaban materiales para cubrirse, abrigarse y fabricar recipientes. No hubo, desde que el hombre utilizó al perro como ayudante en sus cacerías, una larga transición hasta la utilización de animales mayores para evitar que los hombros humanos siguiesen soportando cargas. Del transporte de cargas en general se pasó a la tracción y al transporte de una carga peculiar: el jinete. Todos estos usos de los animales domésticos pertenecen a una remota antigüedad; y esto también es válido para usos menos prácticos, es decir, como objetos de veneración y como animales de compañía. Bajo ambos aspectos, el gato ocupó un lugar destacado en el antiguo Egipto tras haber sido relevado de su tarea originaria como guardián de los graneros. Por ello es posible ofrecer una panorámica general tanto del proceso de domesticación como del campo que éste abarca en la vida animal.

La domesticación de cada especie animal debe de haber comenzado con una fase en la que fue tan casual y parcial, que el cruce con individuos salvajes siguió siendo algo corriente. Cuando el ganado doméstico se separó totalmente del salvaje y se apareó entre sí, su aspecto sufrió una modificación y dio lugar a especies domésticas distintas. De ahí las diferentes razas de ganado lanar, vacuno y de cerda, que los emigrantes neolíticos llevaron consigo a Europa. Comenzó entonces la etapa, que aún perdura, del control consciente del cruce de animales, con la esperanza, no siempre satisfecha, de desarrollar las características más útiles: la enorme variedad de perros que resultó es un excelente ejemplo de las consecuencias de la hibridación de las especies. Durante un tiempo, con el fin de obtener un ganado

más productivo y perros guardianes más fieros, quizá se intentó cruzar las especies domésticas con las salvajes; pero pronto se supo que las cualidades como el color, la presencia, la fuerza y la velocidad, o como la producción más abundante de leche, lana y carne podían conseguirse por medio de la creación de razas estandarizadas. Esta etapa se había alcanzado hace ya cinco mil años en el Oriente Próximo, y a medida que la diferenciación entre las especies salvajes y las domésticas del mismo animal se hizo más evidente, todo cruce con aquéllas acabó por ser considerado como una seria desventaja.

En el último período las especies salvajes disminuyeron en número o incluso desaparecieron. Esto pudo deberse en parte a cambios en el medio y en la disponibilidad de alimentos, provocados, bien naturalmente, bien por la actividad del hombre, y contra los cuales las especies domésticas estaban protegidas artificialmente. En parte, asimismo, pudo ser una consecuencia natural de la caza indiscriminada, como la que acabó con los millones de bisontes de las grandes praderas norteamericanas hace menos de un siglo. Existen también algunos casos conocidos de exterminio deliberado en beneficio de las especies domésticas, particularmente en el caso de los caballos salvajes, demasiado móviles y por tanto molestos: de este modo fue exterminado el tarpán por los campesinos de la Europa sudoriental, pues sus yeguas se fugaban con los sementales salvajes. Más hacia el norte, los últimos caballos en libertad de Polonia fueron capturados y entregados a los campesinos en 1812, en tanto que los nómadas de Mongolia, según se dice, se apoderaron hace muy pocos años de las últimas manadas de caballos en libertad, minúsculas ya, pues no estaban formadas más que por diez o quince individuos cada una. Parece ser que el elefante es, en nuestros días, el único animal que el hombre todavía utiliza —aunque ya no en Europa— como animal de carga, sin que las manadas domesticadas sean hoy, en conjunto, más importantes nu-

méricamente que las salvajes. En este último caso, con todo, el número de los elefantes domésticos todavía depende directamente del de los salvajes para su mantenimiento, ya que el elefante en general no se reproduce en cautividad.

Los restos hallados en las grutas nos ofrecen una confirmación del orden en que se produjo la domesticación, que, teóricamente, parece verosímil. Los animales que se alimentan de despojos fueron los primeros en ser domesticados, por las razones ya expuestas anteriormente, y ello concede un lugar destacado al perro y, en los primeros momentos, al chacal. Luego vino el grupo de los animales que en su estado natural llevan a cabo migraciones periódicas, y que pudieron por esto haber entrado en contacto con el hombre cuando éste era todavía nómada. Este grupo incluye al reno, a la cabra y a la oveja. De todas maneras, la domesticación del ganado vacuno —que requiere, al menos en sus fases iniciales, una vida sedentaria— pertenece sin duda al período agrícola, cuando la domesticación de las primeras especies podría, asimismo, haberse vuelto mucho más corriente. Este fue también el período en que la abeja, que hasta los tiempos modernos suministró el mejor edulcorante de la alimentación humana, fue inducida por primera vez a fijar su residencia en colmenas hechas con paja procedente de la siega. El último grupo está compuesto por los animales que se domesticaron fundamentalmente para utilizarlos en el transporte, y que incluyen al asno, al caballo y al camello; el caballo y el camello parecen haber sido los últimos en entrar al servicio del hombre, al ser su utilización imposible de fechar antes del segundo milenio a.C.

Desde entonces hasta hoy, sin embargo, el progreso de este instrumento tecnológico ha sido extraordinariamente exiguo en numerosos aspectos. Por un lado, no es fácil encontrar nuevos usos importantes para los animales domesticados, a menos que consideremos como tales su creciente importancia para

la ciencia moderna con fines experimentales. Por el otro, el número de especies seleccionadas para su domesticación regular parece haber disminuido en vez de ampliarse. Las conejeras de las granjas medievales, así como los criaderos de animales empleados en peletería actualmente, no se han sumado aún de manera total a la lista. Por otro lado, en el 2500 a.C. los egipcios hacían, al parecer, uso doméstico de animales tales como la gacela, la cabra montés y el antílope, domesticaban monos y engordaban hienas para la mesa, como si fuesen ocas de Estrasburgo. Aun así, en los tiempos modernos se han efectuado grandes avances en la cría de especies para fines determinados, como el suministro de leche, carne, pieles o fuerza de tracción. Sobre esto volveremos más adelante (capítulo 24).

ORIGENES DE LA AGRICULTURA

El cultivo de plantas, como la domesticación de animales, tuvo sin duda comienzos accidentales en las zonas donde acampaba el hombre primitivo. Las semillas y las raíces de los vegetales recolectados por el hombre y transportados hasta sus viviendas fueron quizá observadas mientras germinaban y retoñaban en condiciones favorables; quizá se produjo en ocasiones un retorno del hombre para ver lo que había brotado, como por arte de magia, en algunos de sus campamentos anteriores. Pero el cultivo sistemático del suelo dependió del conocimiento de los procesos de la naturaleza y de sus estaciones, así como de la elección de zonas adecuadas, como las que la naturaleza proporcionaba en los valles de los grandes ríos del Oriente Próximo, para realizar un acto más o menos deliberado de experimento social. El resultado fue la garantía, excepto en las épocas malas, de un excedente alimenticio mucho mayor que el que el hombre, como simple recolector o domesticador ocasional de animales, pudo soñar jamás: el

abastecimiento de alimentos que inició la revolución neolítica.

La agricultura, en sus formas más simples, implica el desbrozamiento y la roturación de superficies no demasiado áridas; la siembra y la protección de la semilla; la destrucción de la maleza y la conservación o aplicación de reservas de agua durante el crecimiento de la planta; y, tras la recolección, el almacenamiento en lugar seguro de la cosecha y la reserva de semillas para la próxima temporada. Para cada cosecha se necesita hallar y utilizar suelos vírgenes —conociéndose esta práctica como agricultura «extensiva»—, pero en cuanto se hace necesario o conveniente labrar la misma tierra año tras año, se requiere un cultivo de mayor profundidad con el fin de retrasar el agotamiento de los suelos. De ahí el fundamental invento del arado, si bien su pleno desarrollo se produjo cuando el hombre hubo de enfrentarse a los terrenos arcillosos del norte de Europa. En Mesopotamia y Egipto el problema más importante era el de suministrar agua a la tierra.

Aunque el laboreo y el regadío fueron artes en las que el hombre desarrolló sus nuevos conocimientos técnicos, lo que se produjo en primer lugar fue la selección de plantas sobre las que poder aplicarlas. La lista de las utilizadas en la Europa prehistórica nos sorprende por su variedad, ya que incluye tanto plantas industriales como alimenticias; y entre estas últimas se hallan numerosas variedades que hoy nos son completamente desconocidas. Las hortalizas y los tubérculos son demasiado perecederos para dejar abundantes restos al arqueólogo, pero su rápido crecimiento hace que sea bastante probable que fueran las primeras plantas que se cultivaron. La fruta, que requiere varias temporadas hasta su aparición, se cultivó probablemente algo más tarde, aunque en Europa se han hallado restos de higos, manzanas, peras y pequeñas ciruelas en yacimientos neolíticos tardíos. Los frutos secos tuvieron importancia, con seguridad, ya desde los primeros momentos, como alimento que

se conseguía recolectándolo: el nogal fue llevado al norte de Europa desde climas más meridionales, tales como el de Grecia, donde fue cultivado por primera vez a gran escala. Tenemos en el avellano el ejemplo de un árbol cuyo fruto ha servido de alimento ya desde el Mesolítico por lo menos, pero que, sin embargo, incluso en la actualidad, no se halla totalmente incluido entre las plantas cultivadas. Podemos agrupar, con los frutos secos, las semillas oleaginosas, entre las que se incluyen la del lino y la de la adormidera, así como la del sésamo de la antigua Mesopotamia y la del olivo, que se difundió a partir de las costas del Mediterráneo oriental hasta llegar a ser típica también de Italia, Grecia, sur de Francia y España. El cultivo de plantas oleaginosas tuvo especial importancia debido a que proporcionó al hombre una gama de aceites y grasas —indispensables como alimentos y muy útiles también para ciertas industrias y para la iluminación—, más amplia posiblemente que la obtenida mediante la domesticación de animales.

Nos queda por hablar de los dos grandes pilares de la despensa del hombre: las legumbres y los cereales. Ambos son fácilmente cultivables y almacenables; si la difusión de las legumbres debe relacionarse con el hecho de que son, entre todas las plantas cultivadas, las que cuentan con mayor número de especies, en cambio los cereales no poseen más que unas pocas, aunque ampliamente distribuidas. Las alubias, los guisantes y las lentejas han venido cultivándose en Europa desde el Neolítico, y las legumbres, especialmente la soja, continúan proporcionando hoy día el principal alimento proteínico a la población de Oriente. Pero los cereales se han convertido en los cultivos más importantes, y por ello es interesante que se haya encontrado un tipo primitivo de trigo y cebada de dos carreras en una de las más antiguas estaciones agrícolas —la de Jarmo, en el Iraq nororiental—, en un yacimiento neolítico fechado alrededor del año 5000 a.C. La variedad de

cebada de seis carreras vino más tarde, del Oriente Lejano, pero ambas variedades de cebada penetraron en Europa al mismo tiempo, junto con variedades primitivas de trigo. El centeno, que es una hierba silvestre de los trigales, ocupó en buena medida el lugar del trigo en el norte, cuando un empeoramiento del clima a fines de la Edad de Bronce empujó al trigo hacia el sur. Pero «hierba silvestre» es un término relativo, de todos modos: el contenido estomacal de un hombre de la Edad de Hierro, cuyo cuerpo quedó conservado en un pantano danés durante dos mil años, mostró que había comido por lo menos una docena de nuestras hierbas silvestres más comunes, algunas de las cuales fueron cultivadas en tiempos pasados, y que todas ellas pudieron haber servido muy bien para hacer menos monótonas y más nutritivas sus gachas de cereales. La avena era originaria de Europa, y las condiciones climáticas de las regiones septentrionales hicieron de ella el más seguro de los cultivos de cereales. Este es un factor fundamental que determinó el tipo de cultivos de cada región, ya que los agricultores producían aquello que la experiencia había demostrado ser lo más idóneo para un suelo y clima dados. Otros productos, en cambio, eran de importacion, en la medida en que lo permitían las rutas comerciales, y provenían de las regiones más favorables para su producción.

En el caso de los vegetales industriales existe la misma dificultad para trazar una divisoria entre las hierbas espontáneas y las plantas útiles. El lino, que se cultivó originariamente por sus semillas oleaginosas, comenzó a producirse para usos textiles hacia el 3000 a.C., tanto en Mesopotamia como en el valle del Nilo. Más difícil es imaginar el papel desempeñado por la ortiga como planta textil, aunque en realidad sus fibras se usaban todavía en Europa para fabricar tejidos en los años de la primera guerra mundial.

La agricultura avanzó durante mucho tiempo a costa de pruebas y errores, hasta que, después de uti-

lizar numerosos tipos y métodos de cultivo, comenzó a predominar paulatinamente un pequeño número de ellos. La obtención de cosechas regulares proporcionó los primeros excedentes; los excedentes, a su vez, dieron lugar al surgimiento del especialista (página 14); y la existencia del especialista, a la especialización de los utensilios agrícolas.

En un cierto sentido, los instrumentos agrícolas preceden a la propia agricultura. Así, la hoz o cuchilla de segar se creó en un principio para cortar las hierbas silvestres. En Mesopotamia se hacía de barro cocido; en Europa su forma más primitiva tenía el mango hecho de asta, con muescas en las que se sujetaban hojas de sílex superpuestas; pero la forma más corriente, tal como era de esperar, tenía un breve mango de madera que sujetaba varios dientes de sílex o una sola pieza afilada de la misma materia. Además, las piedras celtas desbastadas y pulimentadas —las hachas y azuelas de sílex y de otras clases de piedra características del Neolítico— servían tanto para una economía basada en la caza como para una economía agrícola. Una forma perfeccionada de hacha, con la cual el campesino dio comienzo a su larga tarea de desbrozar los bosques europeos, debió de haber sido útil también para la caza. La azuela, cuyo nombre solemos asociar a un instrumento para trabajar la madera, era usada también como azada por los primeros cultivadores.

El curso del desarrollo puede ser seguido de manera más clara en Egipto (fig. 11). En los primeros

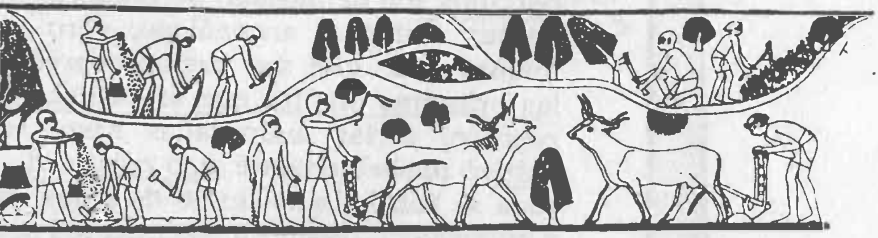


Fig. 11. Terrenos ganados al bosque en Egipto. De una tumba de Tebas, hacia 1420 a. C.

tiempos se trabajaba la tierra de modo tosco, mediante una rama de árbol aguzada, pero luego la azada doble, que manejaban dos hombres, se convirtió en arado: uno de los hombres tiraba de una cuerda o correa hacia adelante, mientras que el otro, detrás, presionaba la punta de la azada contra la tierra. Cuanto más profundo era el surco, más lento era el agotamiento del suelo. Cuando se utilizaron bueyes como fuerza de tiro se introdujo un mango para guiar de manera apropiada la punta que entraba en la tierra, aunque ésta debía ser desmenuzada antes con la azada o con el mallo. En el segundo milenio a.C. comenzó a usarse una reja de arado más poderosa, fabricada de madera o piedra, así como un yugo doble que pasaba por entre los cuernos de los bueyes y que se ataba fuertemente al timón, lo que proporcionó una herramienta mucho más poderosa. Las semillas se sembraban, con frecuencia, esparciéndolas por delante del arado y luego éste iba cubriéndolas, o bien se conducía a las cabras o a las ovejas hasta el campo y se hacía que éstas pisaran las semillas hasta introducirlas en los surcos recién abiertos; en cambio el lino se sembraba con sumo cuidado a lo largo de lo surcos, con el fin de que pudiese ser arrancado con mayor facilidad en época de recolección. En lo que respecta a los instrumentos para la siega, la vara de madera, de forma recta, se convirtió en una hoz de cobre o de bronce más curva y cortante.

EL REGADIO

Podríamos pasar por alto los métodos de la agricultura de los primeros tiempos, ya que poseen un interés fundamentalmente arqueológico, si no fuese por las técnicas tan avanzadas que se desarrollaron en las cuencas de los grandes ríos con el fin de proporcionar agua a los sembrados. Es posible que el hombre recolector aprendiese pronto a estimular el

crecimiento de las plantas silvestres rociando con agua las inmediaciones de las fuentes y las orillas de los arroyos; es evidente que el cigoñal, que aún se usa ampliamente, fue empleado para regar los datileros y las viñas, las huertas y los macizos de flores de los egipcios en el segundo milenio a.C.

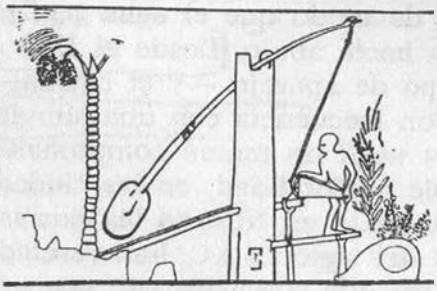


Fig. 12. Riego por medio del cigoñal en Egipto. De una tumba de Tebas, hacia 1500 antes de Cristo.

El cigoñal (fig. 12) se construye habitualmente levantando dos pilares de un metro o más de altura unidos cerca de su parte superior por un pequeño tablón. Encima de éste está en equilibrio una larga pértiga, que tiene en uno de sus extremos una vasija para contener agua y en el otro un contrapeso. A la orilla del agua un hombre llena el recipiente inclinándolo, lo sube y lo vacía en un canal de irrigación. Con este aparato un hombre puede levantar unos 2.500 litros de agua hasta una altura de dos metros en un día. Bastante más tarde, los cigoñales se colocaban en serie, y todos, excepto el primero, se inclinaban dentro de la cubeta llenada por el cigoñal precedente. Su primer rival serio fue quizá una cadena continua de cangilones como la que al parecer se utilizaba para subir agua desde un pozo hasta los famosos jardines colgantes de Babilonia. La rueda hidráulica tirada por un buey, que podía irrigar 0,2 hectáreas al día, no se sabe que haya existido antes del 200 a.C., cuando comenzó a divulgarse el uso de engranajes para unir un eje vertical al de una rueda horizontal.

Los hombres hubieron de excavar en busca de

agua, en los tiempos primitivos, como los beduinos excavan aún hoy en Arabia, ahondando un hoyo en un lugar prometedor hasta que el agua brota o la paciencia se agota. Para que hubiera un pozo permanente era necesario un revestimiento de piedra dura u otro material consistente, y probablemente una cuerda y un aparejo levantado sobre la boca del pozo, de modo que el agua pudiese ser extraída tirando hacia abajo. Desde el 1500 a.C. a más tardar, tal tipo de aparejo —y el cigonal— estaban equipados con frecuencia con una simple polea. Los pozos de los *wadi* no tenían comúnmente más de 4,5 metros de profundidad; en las ciudades solían ser más profundos, y en Nimrud las excavaciones del palacio asirio del siglo IX a.C. han revelado la existencia de un pozo, aún con agua, con una profundidad de más de 300 hileras de ladrillos. Pero es de suponer que los pozos profundos se excavaron primero mediante sondeo por percusión, cuando los antiguos egipcios, en sus esfuerzos por explotar los oasis del desierto, descubrieron la posibilidad de construir pozos artesianos, en los que el agua es forzada a subir por un profundo pozo de sondeo a causa de su propia presión.

La conservación del agua por medio de represas fue uno de los más precoces trabajos humanos a gran escala que aún subsisten. El valle del Orontes, en Siria, tiene un dique de piedra de 2,5 kilómetros de longitud que data del 1300 a.C. aproximadamente; más arriba de Nínive aún subsiste en parte una presa asiria, con restos que alcanzan una altura de cerca de tres metros. Existen también innumerables restos de depósitos revestidos de cemento y cisternas de piedra para acumular agua, e inclusive cisternas excavadas bajo las rocas para disminuir la evaporación, por no mencionar los restos de vastas estructuras de ingeniería, tales como acueductos y conductos subterráneos de piedra o barro cocido, que llevaban el agua a las ciudades (p. 238), con frecuencia desde distancias considerables.

En Egipto y Mesopotamia el principal problema del asentamiento en las grandes cuencas fluviales era el de la irrigación. La crecida anual del Nilo, entre julio y septiembre, es un acontecimiento tan puntual y de importancia tan capital que la realización de los necesarios cálculos sobre la fecha y la altura de aquélla fueron dos funciones técnicas que durante mucho tiempo confirieron gran poder al clero. Se atribuye a Menes, que según la leyenda fue el primer faraón, la represa del Nilo; sin embargo, la historia es incapaz de localizar el momento en el cual el hombre intentó por primera vez retener las aguas vivificantes con una barrera de piedra. El sistema que se desarrolló fue la división del área cultivable del valle del Nilo en presas rectangulares de 500 a 15.000 hectáreas cada una, que se llenaban con agua proveniente de las inundaciones anuales por medio de un sistema de esclusas. Cada una de ellas, por turno, era inundada hasta una altura de uno a dos metros, y el agua se dejaba allí un mes o más hasta que hubiese saturado el suelo, después de lo cual el sobrante era drenado a un nivel inferior y finalmente devuelto al Nilo. Las zonas hacia las que las corrientes de agua no podían fluir naturalmente eran alimentadas por medio de un sistema de canales.

El Tigris y el Eufrates presentaban problemas diferentes a los del Nilo, por lo que requerían una solución diferente. En ambos ríos las inundaciones son peligrosas e irregulares; el Tigris sube antes que el Eufrates, el cual transporta dos veces más agua y retrocede más rápidamente; y entre ambos transportan cinco veces más sedimentos que el Nilo, lo que obstruye los canales. Además, la inundación finaliza al comienzo de la estación cálida, con lo que no es suficiente para que el suelo se empape profundamente, como en el valle del Nilo. La agricultura dependía, por consiguiente, de un sistema de regadío constante.

Los valles inferiores del Tigris y el Eufrates estaban cruzados por una serie de anchos canales, el más

famoso de los cuales, el Nahrwan, tenía 120 metros de anchura y probablemente más de 370 kilómetros de longitud. De ellos el agua pasaba, a través de canales tributarios, a una red de canales más pequeños y acequias de irrigación, y de estas últimas se podía hacer pasar un hilo de agua a cada una de las parcelas. Para mantener la corriente de agua a lo largo del sistema, el canal principal debía tener un nivel de agua levemente superior al nivel general del suelo, y su caudal había de estar tan bien regulado que no debía ni erosionar las orillas, a causa de su excesiva velocidad, ni ser sofocado por los sedimentos y la maleza a causa de su excesiva lentitud. En sus cabeceras los canales dependían de grandes presas de contención, construidas con ladrillo, y de las presas del río. Además del uso del ladrillo y de las barreras de cañas para reforzar las orillas de fango aluvial, el principal requisito para la construcción de este vasto sistema de irrigación era una masa de trabajadores provistos de picos y palas. El campo, en consecuencia, floreció cuando un gobernante fuerte como Hammurabi pudo obligar a cada distrito a cumplir con el trabajo asignado, como sus escritos muestran que hizo, y cuando las leyes hicieron respetar escrupulosamente los derechos de irrigación de los que dependía el valor de unos bienes raíces cuidadosamente definidos: Herodoto nos informa de que, por increíble que pueda parecernos, los granjeros en Babilonia obtenían frecuentemente un rendimiento del doscientos y a veces hasta del trescientos por uno sobre su grano. Pero un sistema hidráulico tan complejo y vigilado era también extremadamente vulnerable: se dice que la Tierra de los Dos Ríos no se ha recuperado aún de los daños que sufrieron los canales durante las invasiones de los mongoles en los siglos XIII y XIV de nuestra era.

DESARROLLO DE LA AGRICULTURA EN EUROPA

La irrigación fue el factor dominante de la agricultura en Mesopotamia y en Egipto, los ríos, cuando se controlaban adecuadamente, suministraban la humedad necesaria e incluso transportaban depósitos de un suelo nuevo y rico que mantenía la tierra en buenas condiciones. Los romanos también practicaron la irrigación a gran escala en Argelia, como los árabes harían más tarde en España y Sicilia, cuando introdujeron el arroz, el algodón y la caña de azúcar. Pero la cuenca mediterránea en conjunto, y aún más los terrenos arcillosos del norte de Europa, requerían la aplicación de técnicas agrícolas bastante diferentes.

Grecia e Italia tienen por lo general un suelo arijo, ríos torrenciales y un clima que combina sequías regulares en verano con cortas pero abundantes lluvias en invierno, que tienden a hacer desaparecer del suelo las materias nutritivas esenciales para las plantas. La tierra para la ganadería es escasa; de ahí que la fertilidad del suelo no pueda ser prontamente restaurada con abono animal. El promedio del rendimiento en la época romana no era de más del cuádruplo, y para obtenerlo la tierra debía ser dejada en barbecho en años alternos y desmenuzada antes de cada cosecha. Si los costos del trabajo lo permitían, la tierra era cavada y, en todo caso, arada al menos tres veces: en ángulo recto sucesivamente y algunas veces de forma oblicua. Se ha calculado que este método de preparar la tierra duplica la cantidad de humedad retenida en los meses secos del verano.

Los griegos y los romanos usaban un arado ligero (fig. 13) consistente en un engero al que estaban atados los animales de tiro; un timón curvo que unía el engero a la reja, colocado horizontalmente al suelo, y una esteva fijada al final del arado para guiarlo con una sola mano. La parte vulnerable era la reja que dividía la tierra y pasaba a lo largo del surco,

pues estaba hecha por lo general de roble, y sus lados estaban a veces protegidos mediante la inserción de guijarros en unos agujeros practicados en la madera; pero lo más importante era proteger la punta cortante con una contera o calce duro. Se cree que los egipcios usaron sílex para este fin, en todo caso parece ser que no utilizaron cobre o bronce; las primeras rejas de hierro se han encontrado en Palestina y datan de fines del segundo milenio a.C. Es bastante sorprendente que no se hayan descubierto rejas de hierro de procedencia helénica, pero fueron usadas ampliamente por los romanos, los cuales tenían un tipo de reja embutida y otro, menos corriente, en forma de punta de lanza, que llegaron a Britania antes que César.

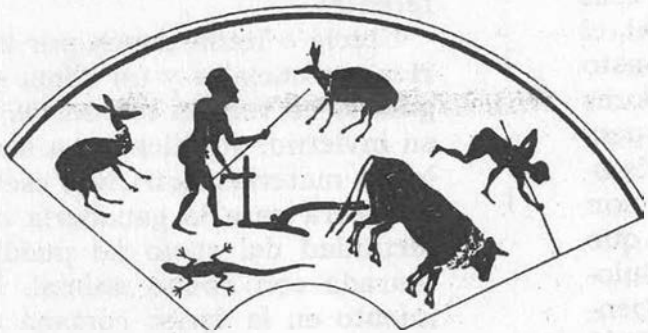


Fig. 13. Arado griego. De una copa del siglo VII a. C.

La expansión del Imperio romano coincidió con el punto culminante de la tecnología agrícola en el antiguo Mediterráneo, cuando se emplearon por primera vez métodos avanzados y mejores herramientas en algunas de las grandes haciendas trabajadas por esclavos, que más tarde fueron difundidos en todo el Imperio por los terratenientes. Entre estos métodos avanzados se incluía una especial atención al drenaje, tanto para contener la desaparición de los componentes más valiosos del suelo en las estaciones lluviosas como para hacer cultivables áreas pantanosas tales como la Campania y el valle del Po. Los ro-

manos fueron capaces, por consiguiente, de organizar el drenaje de regiones anegadas por el agua en los territorios conquistados del norte, como Holanda y la Britania oriental, donde el principal problema no era el de la conservación del agua, como en las regiones con un régimen de lluvias escaso, sino los inconvenientes causados por lluvias abundantes e irregulares. De todos modos, el arado que se necesitaba era de un tipo diferente del adecuado para el Mediterráneo.

En el norte la trituración podía arruinar el terreno; el método adecuado fue definido sucintamente por James Small en 1784: «Labrar una capa de tierra, moverla hacia un lado, volverla hacia el otro.» Los arados romanos, en realidad, estaban dotados de un sistema para apartar el sobrante de tierra, que empujaba hacia los lados los terrones levantados, o bien de una cuchilla de hierro colocada en una ranura del timón del arado, que hacía un corte vertical, en contraposición al corte horizontal de la reja. No obstante, en el norte de Europa se han encontrado restos, quizá prerromanos, que sugieren que el arado de desfonde se desarrolló de modo independiente en el norte, para adaptarse a las necesidades de los terrenos arcillosos que ciertos pueblos como los belgas se habían empeñado en arrebatar al bosque. Sus elementos característicos incluyen un armazón pesado, de forma cuadrada, con un timón encima y una reja debajo, unido por una esteva en la parte trasera y un soporte o chapa inmediatamente detrás de la reja. Un discutido pasaje de Plinio parece afirmar que había sido introducido un par de ruedas para sostener el timón en la región al sur del alto Danubio, y que por estas fechas se usaba también en la Galia Cisalpina. Pero el uso del arado con ruedas parece haberse limitado, incluso un milenio más tarde, a los terrenos arcillosos ganados a los bosques, sin que nunca suplantara completamente al arado de reja reversible. En 1523, Fitzherbert observaba el alto coste de «los arados que se mueven por ruedas».

Otra importante innovación en Europa, desde el siglo XI en adelante, fue un método que al parecer habían adoptado ya los chinos dos mil años antes en una modalidad perfeccionada: el uso de una vertedera de madera curvada (fig. 14) para dar la vuelta a los terrones que se iban levantando, pues a menudo eran demasiado pesados para ser volteados por el labrador con sus propias manos. La forma variaba notablemente según la naturaleza del suelo y del cultivo que debía crecer en él.

Fig. 14. Arado de comienzos del siglo XIV, provisto de vertedera. Del manuscrito de una Biblia inglesa.

Hasta el siglo XVI se usó poco el caballo en Inglaterra para tirar del arado. El tiro de ocho bueyes era una unidad de cuenta más que un instrumento de la práctica agrícola normal, y fue con el tiro de cuatro bueyes, conducido por dos hombres —uno dirigía el arado y otro, andando de espaldas, de cara a los animales, los conducía con una larga aijada—, con lo que se conquistaran paulatinamente los terrenos arcillosos del sur de Britania. El proceso comenzó de manera efectiva bajo la influencia de la demanda del mercado romano de grano, tomó nuevo impulso en los últimos siglos de presencia sajona y se completó en lo principal hacia 1300.

Por lo que concierne al resto de los aperos, la influencia de los romanos fue fuerte, especialmente en

las posesiones de la Iglesia, que heredó sus métodos basados en un continuado trabajo del terreno. Los romanos usaban gradas que al principio fueron simples entramados de ramas espinosas. Se usaron primero para arrancar las malas hierbas, luego para cubrir las simientes, y en la Edad Media para roturar el terreno difícil y complementar el trabajo del arado; en muchas ocasiones se usaba el mallo para desmenuzar los terrones. No se usaron rodillos para apisonar la tierra, salvo un tipo de grada consistente en un cilindro de madera provisto de púas de hierro. En la Edad Media eran corrientes los rastrillos de madera, y ya desde la época romana hubo palas de madera con un regatón de hierro, así como picos y horcas de hierro. Una consecuencia aún más importante del uso del hierro fue el desarrollo sucesivo de una hoz equilibrada, de una guadaña de mango corto y luego de otra mayor que hacia el siglo XII tenía ya un mango de tipo moderno. Hay una sorprendente diferencia entre los métodos manuales actuales y la costumbre entonces corriente de segar la espiga por la parte superior; Plinio habla incluso de una segadora que funcionaba impulsando un amplio rastrillo y un recipiente, a la altura del pecho de un hombre, entre las mieses.

El grano se separaba de la paja trillándolo con las pezuñas de los animales, con una tabla tachonada de piedras o con el mayal articulado, que cita por primera vez San Jerónimo a principios del siglo V. Entonces se eliminaba el tamo por medio de un aventador, que originalmente no era un utensilio para provocar corrientes de aire, sino una cesta en la que se agitaba el grano. Otros cuatro aperos de labranza que casi no han cambiado desde el medievo, y, en realidad, de los tiempos de los romanos, son los zarzos de los rediles; los pequeños hornos para secar el grano cosechado aún en agraz o húmedo; las tijeras de una sola hoja para esquilar ovejas, y la escalera de madera.

LA PREPARACION DE LA COMIDA Y DE LA BEBIDA

La historia de la tecnología no sólo se interesa por la producción de alimentos, sino también por el ulterior proceso de preparación, a la cual la humanidad ha consagrado cada vez más ingenio y habilidad. En las primeras civilizaciones la dieta de las masas provenía en su mayor parte de los cereales o de las legumbres, y se hacía más variada, hasta cierto punto, con la adición de pescado (p. 94): la carne de los animales no estaba al alcance de los pobres, excepto en ocasiones especiales. Hoy en día el alimento animal es más importante: una gran proporción de nuestros cereales se emplea, consecuentemente, en forrajes. Pero la economía romana, por ejemplo, dependía de la importación de trigo barato por vía marítima, y la población —que en la época de Augusto comprendía a cerca de un millón de personas— se alimentaba principalmente de una harina de baja calidad proveniente de un trigo bastante molido y toscamente tamizado, y limpiado no muy a fondo.

La trituración del grano con el fin de desembarazarlo de la cáscara, y posteriormente la molienda del grano limpio para fabricar harina, fueron procesos que originariamente se llevaban a cabo de manera separada en cada hogar. El almirez y el mortero fueron sustituidos por la muela de mano, usada por las mujeres egipcias hace cuatro mil años (fig. 15). La segunda etapa del desarrollo de la muela, que tuvo lugar en la Grecia clásica, corresponde al llamado

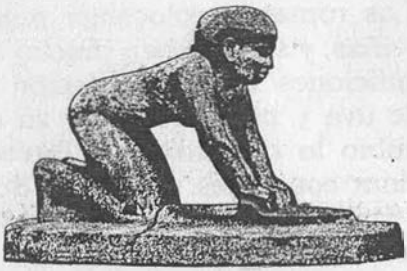


Fig. 15. Uno de los primeros modelos de muela de mano. Egipto, hacia 2500 a. C.

molino a brazo, en el que ambas piedras eran planas y estriadas y el grano se introducía por una cavidad de la superficie externa de la piedra situada encima, a través de una canaleta, hasta la piedra que molía, situada en la parte inferior. Más tarde vino el molino manual giratorio, una de las primeras y más importantes aplicaciones del principio de la rotación desde la rueda de alfarero (pp. 112-113). Por medio de un mango se hacía girar la piedra de arriba, que tenía una cavidad en el centro con el fin de introducir por allí el grano y un puente de madera o hierro fijado a través del agujero, con el fin de trasladar el peso de la piedra superior a un eje situado en el medio de la piedra inferior. Estos molinos giratorios, que llegaron a Roma desde el Oriente Próximo, se hallaban asociados al crecimiento de la clase de los molineros profesionales, pero en su difusión intervinieron los ejércitos romanos, habituados a moler su propio grano, ya que cada grupo de diez hombres contaba con un molino. Los molinos de mayor tamaño recibían el nombre de molinos de sangre, pues estaban movidos por fuerza animal; su supervivencia en Pompeya sugiere que eran un elemento habitual de la civilización urbana. Hasta el siglo IV d.C. no comenzó a abrirse paso el molino hidráulico (p. 361).

Los imperios del Oriente Próximo y del Mediterráneo hicieron gran uso de la higuera, el olivo y la viña, plantas que tardaban varios años en llegar a su pleno rendimiento, pero que por la profundidad de sus raíces, que buscaban la humedad del subsuelo, eran capaces de resistir las sequías y producir en abundancia a lo largo de muchos años. La higuera, por ejemplo, puede producir dos o tres cosechas al año, y fue siempre un alimento básico para las clases más pobres, incluyendo a los esclavos. El olivo fue la principal fuente de aceite de todo tipo: así, la palabra inglesa *oil* se cree que procede, a través del latín (*oleum*) y del griego, de la antigua palabra semita que designaba al aceite de oliva. Sin embargo, los aceites y las grasas de origen animal llegaron a pre-

dominar en el norte de Europa, donde el olivo no se daba y el alto costo de la importación del aceite limitaba su uso, en buena parte, a fines eclesiásticos. Existían dos procesos principales para preparar el aceite. El primero consistía en separar la pulpa del hueso sin romper este último, para lo cual los romanos utilizaban un molino de aceite formado por dos piedras cilíndricas que giraban sobre un eje central a una distancia suficiente (y variable) para separar la pulpa de las aceitunas y luego verterla enteramente en un depósito que había debajo. El segundo pro-

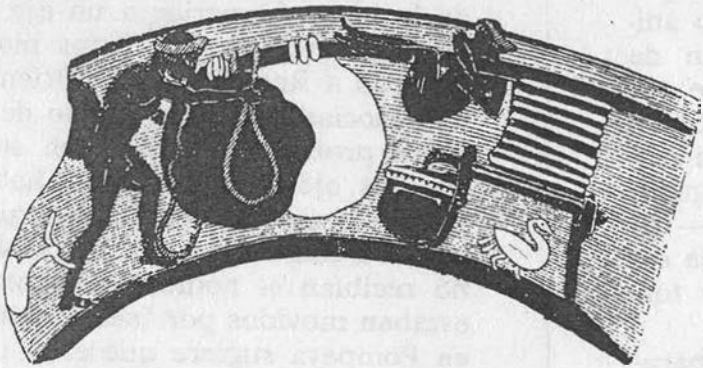


Fig. 16. Prensa de alfargo simple para aceitunas y uva. De un ánfora griega del siglo IV a. C.

ceso consistía en extraer el jugo de la pulpa, lo que en los primeros tiempos se hacía simplemente retorciendo la parte superior de un saco poroso hasta exprimir su contenido. En el último milenio a.C. comenzó a aplicarse el principio de la palanca, por el que se ataban pesos de todas clases al extremo libre o tenaza de un alfargo que giraba hasta que se extraía el jugo de la pulpa, que se hallaba colocada en un saco bajo el alfargo (fig. 16). Plinio conoció cuatro tipos de prensas, accionadas por alfargos que medían hasta 15 metros de longitud o mediante tornillos. El principio del tornillo, que se relaciona con Arquímedes, se aplicó primero para hacer que bajase el alfar-

go; y un poco más tarde para presionar directamente sobre la parte superior de la prensa.

La prensa se utilizó también para las uvas, pero el proceso inicial de la viticultura era mucho más complejo que el del cultivo del olivo. Se trataba de un arte que llegó a Grecia desde el Oriente Próximo, aunque en él los griegos alcanzaron la máxima perfección. El vino que exportaban hacia Occidente fue un factor decisivo para el desarrollo de la cultura celta, y se afirma que la cultura helenística se difundió por Oriente hasta donde se extendió la vid. En los viñedos griegos las plantas se extendían generalmente a lo largo del terreno, y a su crecimiento ayudaban las numerosas sachaduras, la poda de las hojas innecesarias durante el verano y la utilización ocasional de abono verde. En septiembre se pisaban las cestas de uvas sobre un suelo de cemento o madera, siendo mejor el primer jugo, especialmente el exprimido por el propio peso de las uvas. La prensa extraía luego el jugo de peor calidad. Una vez hecho esto, el mosto era almacenado durante seis meses, para que fermentase, dentro de inmensas vasijas de barro del tipo de las llamadas cubas, como aquélla en que Diógenes hizo su casa. Tales vasijas gigantescas eran untadas por dentro y por fuera con resina, lo cual daba un gusto característico al líquido que contenían, que finalmente se filtraba y, envasado en ánforas, se llevaba al mercado. Los vinos griegos siguieron siendo los mejores, si bien respecto a la cantidad —que rondaba los 18.000 ó 19.000 litros por hectárea— Italia llegó a ser durante un tiempo el principal centro de esta industria, seguido por España. Los romanos colocaban puntales o espaldares en sus viñas, y se tomaban mucho trabajo para variar las condiciones de fermentación de los diferentes tipos de uva y para modificar su sabor. Pero el mayor cambio lo constituyó la introducción del barril de madera con flejes de metal, de origen celta, que llegó a Italia a comienzos de nuestra era y que conservaba mucho mejor el vino que las ánforas cerra-

das con arcilla. A cambio, los romanos introdujeron el cultivo de la viña en Francia, en Renania e incluso en el sur de Britania.

El viñedo, como muchas de las buenas cosas de la vida, experimentó una lenta recuperación a partir de la Alta Edad Media. En tiempos de Carlomagno comenzó su resurgimiento, al que contribuyó el deseo de tener vino para el ritual religioso y con fines médicos. A falta de azúcar, el mosto de uva era muy apreciado como edulcorante en tiempos de escasez de miel, y la viticultura fue promocionada por los grandes monasterios; hacia fines del siglo XII se habían plantado viñedos en regiones tan orientales como el valle del Oder.

La preparación de la malta para producir una bebida fermentada a partir de los cereales fue práctica corriente en los primeros imperios: los sumerios, por ejemplo, contaban con diecinueve tipos de cerveza. Sin embargo, los griegos y los romanos la consideraron una bebida bárbara, típica de los celtas y, posteriormente, de los germanos. Fueron estos últimos quienes, hacia el siglo XIII d.C., introdujeron el tipo de cerveza actual, sazonada y conservada por medio del lúpulo, que no se cultivó en Inglaterra hasta el año 1400 aproximadamente. Hasta la introducción de la cerveza negra, a principios del siglo XVIII, no hubo ninguna otra innovación importante en la elaboración de esta bebida. La sidra de pera y de manzana se fabricó en fecha temprana con frutas silvestres, pero la elaborada con manzanas cultivadas se difundió de Normandía a Inglaterra en el siglo XIII, proporcionando a las diversas regiones del país una bebida que no obligaba a disminuir las valiosas reservas de grano.

Los alquimistas estaban muy versados en los procesos de destilación (p. 379) en épocas tan tempranas como el siglo I d.C., pero parece ser que transcurrieron mil años antes de que se comenzase a aplicar a la elaboración de bebidas espirituosas. Una conse-

cuencia de este avance fue la preparación de licores, producto con frecuencia de los herbolarios de los monasterios, que adquirió nueva importancia en tiempos de la peste negra (1348), cuando los médicos, se dice, recetaban habitualmente bebidas alcohólicas fuertes, quizá más por razones psicológicas que puramente físicas. Así se llegó a la destilación de la ginebra a partir de la nebrina, del brandy a partir del vino y finalmente del *aqua vitae*, el «agua de la vida» o aguardiente, mucho más barata. Este término parece haber significado originariamente alcohol casi puro, pero posteriormente se aplicó al brandy hecho con la cebada fermentada con levadura, que en el siglo XV se convirtió en el medio característico y habitual de aliviar los inviernos norteños. Las ordenanzas contra el abuso de las bebidas fuertes nos dan testimonio de la existencia de un serio problema social incluso antes de 1300.

La literatura anterior a la época de la moderna novela realista apenas habla de la dieta de las masas. Sin embargo, parece evidente que en los primeros tiempos de la Edad Media seguía siendo harinosa y pesada, y cuando se variaba la dieta era más gracias al pescado que a la carne. Pero hacia el siglo XIII los trabajadores de las ciudades al menos tuvieron acceso con más frecuencia a la carne y a otros complementos de su feculenta comida. La introducción de una dieta más variada debió contribuir a que disminuyera la incidencia de enfermedades tales como el raquitismo y el escorbuto, que se producían, no por la carencia de alimentos, sino por la ausencia de elementos esenciales (vitaminas) para el mantenimiento de la salud: estas enfermedades carenciales eran realmente comunes en todas las clases sociales. Allí donde el centeno constituía el cereal básico, sobrevenían terribles plagas de ergotismo durante las estaciones húmedas y cálidas, que favorecían la infección del grano por un moho venenoso. En el 994, por ejemplo, se dice que murieron por esta causa 40.000

personas sólo en Aquitania, y todavía en fechas tan tardías como el siglo XVIII se produjeron dos importantes epidemias en seis años.

LA PESCA

La pesca es la más importante de las técnicas destinadas a acumular alimentos que aún sobrevive desde los tiempos más remotos; y, en principio, los métodos utilizados no han cambiado. La captura directa, a mano y por medio de arpones, fue sin duda la que primero se intentó. Más tarde quizá se utilizaron trampas fijas y se experimentaron diferentes tipos de cebos; después el hilo cebado se hizo más eficaz cuando se le añadió un anzuelo de espina o de hueso, y finalmente se empleó la trampa móvil o red, apropiada para aguas profundas y capaz de atrapar gran cantidad de peces. Se cree que la red estaba ya en uso durante el Mesolítico. Las primeras experiencias del hombre como constructor de barcos y marino estuvieron impulsadas por la búsqueda de pesca, si bien en algunas regiones situadas a orillas de un río o de un lago la pesca de agua dulce podía ser suficiente para una población no muy numerosa y diseminada.

La utilidad del pescado como alimento tiene una limitación: su carne se descompone rápidamente. En los primeros tiempos, pues, normalmente el pescado era comido recién capturado, excepto cuando podía ser conservado en hielo. Pero el secado, la salazón y el ahumado de la pesca se practicaron en la Edad del Bronce, y cuando se inició la civilización el pescado se convirtió en un importante artículo de comercio, que los pueblos primitivos cambiaban por manufacturas. Fenicios y griegos comían mucho pescado salado, en especial atún, proveniente del mar Negro y de las desembocaduras de los ríos rusos, mientras que los romanos importaban existencias de España y Egipto, e incluso del norte de Europa.

Los cartagineses, que precedieron a los romanos en las aguas costeras del Atlántico, fueron allí en busca de focas y ballenas, así como de pesca; pero es posible que, por lo menos hasta la Edad Media, la carne, el aceite y los huesos de ballena provinieran más corrientemente de los ejemplares que encallaban. Los habitantes de las islas Feroe tienen aún un sistema para pescar pequeñas ballenas, que consiste en conducirlas hacia la orilla.

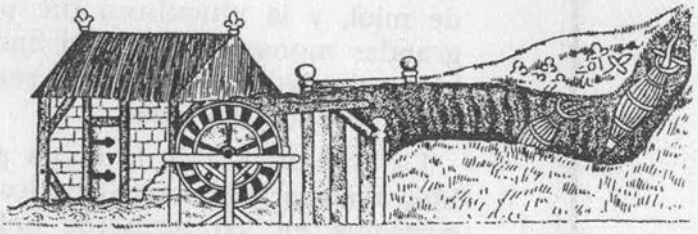


Fig. 17. Trampas para peces en la alberca de un molino que alimenta a una rueda hidráulica de arcaduces. Del salterio de Lutrell.

La pesca se desarrolló rápidamente durante la Edad Media. Los días de abstinencia —miércoles, viernes y Cuaresma— suscitaban entre las clases sociales más acomodadas, incluidos los miembros de las influyentes y numerosas órdenes monásticas, un real interés por las existencias de pescado fresco: por ello abundaban las nasas para salmones y otros tipos de trampas (fig. 17), así como los viveros para peces, cuidadosamente abastecidos. Por supuesto, las clases más humildes podían hacer abstinencia sin comer pescado, pero hacia el siglo XII, el crecimiento de las ciudades, superior a su capacidad de abastecimiento local, tornó imperiosa la necesidad de importar alimentos baratos y fácilmente transportables. La solución fue la captura a gran escala de arenques y bacalaos —peces no mediterráneos, pero que abundan en las aguas del norte—, y su in-

tercambio por pequeñas cantidades de grano (al norte lejano) y manufacturas urbanas.

El arenque, que se alimenta principalmente de plancton y vive en bajíos, junto a la superficie, efectúa una migración anual hacia el sur a través de los bancos de arena del mar del Norte, aunque es más difícil prever en qué región costera irá a desovar. Teniendo en cuenta que en condiciones óptimas es comestible en un 70 por 100, su valor fue ya reconocido en épocas remotas: Yarmouth, por ejemplo, era famoso por su pesquería de arenques en el siglo VI a.C. Pero a fines de la Edad Media la mayor pesquería estacional se hallaba a la altura de las costas de Escania, a la entrada del mar Báltico. Esta alcanzó su momento culminante entre 1275 y 1350, cuando la distribución internacional de la pesca dio a los mercaderes de la Liga Hanseática un monopolio notablemente provechoso, pues el producto en salazón duraba en buen estado unos doce meses, siempre que el destripe del pescado se efectuase rápida y completamente, y el embalaje fuese suficientemente adecuado. Los barriles se llenaban en dos etapas, para permitir que el pescado mermara durante los primeros diez días; las capas de sal que se intercalaban entre el pescado habían de ser lo bastante espesas como para saturar la carne, y los barriles eran cerrados lo más herméticamente posible, para evitar que el aceite de la carne del pescado se enranciara. En los años buenos se empaquetaban unas 13.000 toneladas; se usaban cerca de 2.400 toneladas de sal: una parte venía de las proximidades de Lüneburg, pero la mayoría se obtenía en las grandes salinas francesas de la bahía de Bourgneuf.

Aproximadamente hacia 1400 los holandeses comenzaron a competir con éxito creciente con la Hansa. Un holandés, Willem Beukelszoon, había introducido poco antes una mejora, cuya importancia desconocemos, en el sistema habitual de salar el pescado. Un factor más preciso fue el abandono de Escania por los bancos de arenques, a lo largo del

vasto período comprendido entre 1588 y 1748, trasladando así la principal pesquería al mar del Norte, donde los holandeses superaban a sus rivales ingleses y escoceses. En 1416 introdujeron las redes de arrastre, de 90 a 100 metros de longitud, que eran remolcadas por la noche, cuando los bancos de pescado podían detectarse gracias a su luminosidad. La red parecía una enorme cortina, y el diámetro de sus mallas era tal que los peces quedaban atrapados por las agallas cuando intentaban escapar a través de ellas. Los holandeses sustituyeron también los barcos sin cubierta utilizados para la pesca de bajura por buques con cubierta, de hasta cien toneladas, provistos de dos o tres mástiles; estos *busses* (fig. 18) llevaban a bordo salineros y toneleros, y de esta forma la captura podía ser embalada en el mismo mar. Se supone que hacia 1620 unos 2.000 barcos de este tipo explotaban la «mina de oro holandesa», cerca de las costas inglesas. Esta fue una de las causas principales de las tres guerras anglo-holandesas de este siglo, pero aun en fecha tan tardía como 1805 un economista inglés proclamaba la conveniencia de apoderarse de las pesquerías holandesas.

La principal pesquería europea de bacalao fue, y es todavía, la de las islas Lofoten, en el norte de Noruega, donde el bacalao, que vive junto a otros peces en el fondo del mar, sube a la superficie durante un breve período anual para desovar, siendo capturado con anzuelos y palangres. Los pescadores destripaban y cuarteaban el pescado, que más tarde era extendido por las rocas o colgado de cuerdas para que se secase. El resultado era un producto correoso, pero imputrescible, que podía ser apilado en barcos sin cubierta y enviado rápidamente a Bergen, donde los comerciantes hanseáticos habían establecido un segundo monopolio, que duró hasta mediados del siglo XVI. El nombre *stockfish* (pejepalo) es de origen holandés, aunque se realizaban grandes

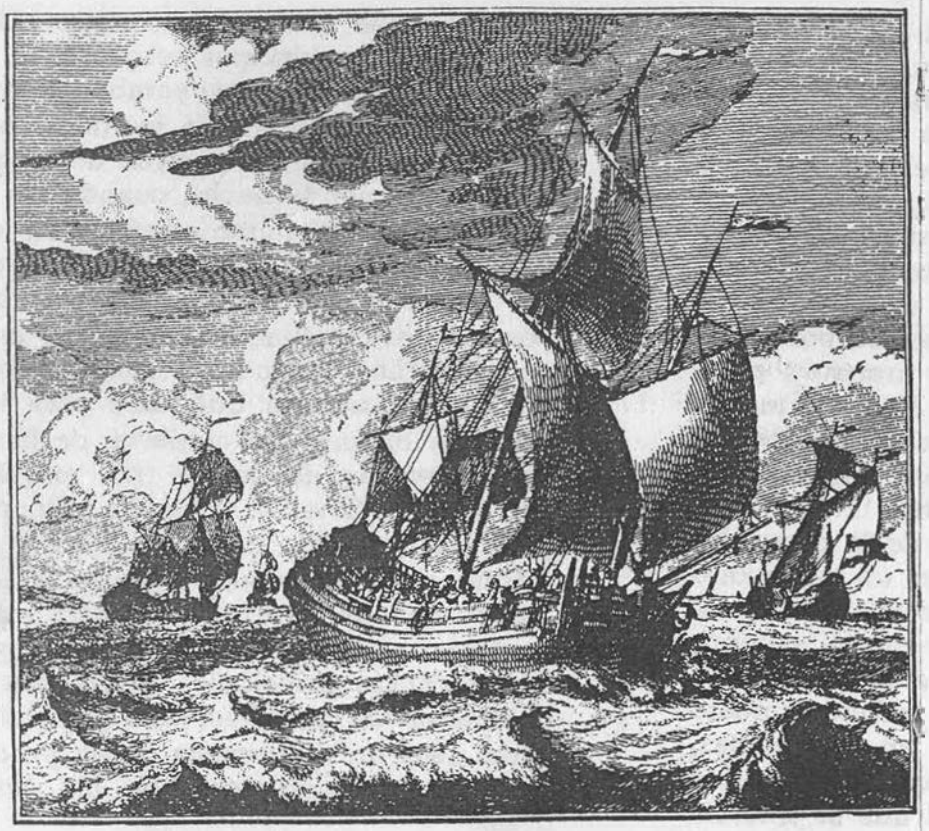


Fig. 18. *Busse* arenquero holandés, 1792.

ventas incluso en regiones tan meridionales como Italia.

El viaje de Giovanni Caboto en 1497 dio a conocer la inmensa fuente de aprovisionamiento de los grandes bancos situados frente a las costas de Terranova, los cuales atrajeron prontamente a las flotas pesqueras de Inglaterra, Francia, Portugal y Holanda, y posteriormente proporcionaron a Nueva Inglaterra su principal exportación. Los beneficios se incrementaron con la introducción de un tipo de palangre que podía ser provisto de más de 5.000 anzuelos, y la misma Terranova se vio valorizada principalmente como base pesquera temporal y lugar para

secar el pescado. Con todo, los franceses, que poseían una abundante provisión de sal barata, salaban mucho bacalao a bordo de los barcos, conservando así su posición destacada en una industria que, como la de las pesquerías de arenques, estuvo protegida por los gobiernos a lo largo de todo el período mercantilista, no tanto para asegurar a sus pueblos unas reservas de alimento como para asegurarse una reserva de marineros para sus armadas.

CONSECUENCIAS DE LOS DESCUBRIMIENTOS GEOGRAFICOS

La era de los descubrimientos geográficos trajo consigo un intercambio de productos agrícolas en ambas direcciones —de Europa hacia los nuevos países, y viceversa— y una modificación de la dieta, los gustos y las costumbres, que solamente se hizo efectiva con el desarrollo de los modernos medios de transporte en las útimas centurias. Un lugar destacado merece la patata, que se había cultivado en América del Sur por lo menos durante los dos milenios anteriores a su conquista por los españoles, quienes introdujeron por primera vez la planta en Europa hacia 1570. Es probable que fuese llevada primero a Inglaterra, independientemente, aunque no por sir Walter Raleigh. De Inglaterra pasó a Irlanda, sin que podamos excluir la posibilidad de que llegase directamente entre los despojos provenientes de los barcos españoles naufragados a lo largo de las costas de Connacht. A su vez los ingleses la introdujeron en Virginia, donde en un principio se la llamó «patata irlandesa», para distinguirla de la batata. En el siglo XVIII la patata comenzó a ser utilizada corrientemente para obtener alcohol por fermentación. Pero su difusión como alimento fue producto directo de la necesidad: se convirtió en la dieta básica de Irlanda durante el siglo XVII. En el resto de Gran Bretaña, y en Francia, no fue dema-

siado utilizada hasta fines del siglo XVIII, época en que Gran Bretaña necesitó alimentar a la creciente población industrial. Federico el Grande dispuso su consumo en Prusia, aunque en la Europa central y septentrional, en general, la patata no se convirtió en uno de los principales cultivos hasta el siglo XIX. El maíz, o grano indio, fue llevado también pronto a Europa. Se cree que Magallanes difundió su uso en Filipinas y en las Indias Orientales, y que los portugueses lo llevaron asimismo a Africa occidental, donde se cultivó en primer lugar como provisión para los barcos de los negreros. El maíz no se adaptó al clima del norte de Europa, pero prosperó en el sudeste, donde las gachas de maíz se convirtieron pronto en alimento base.

En dirección contraria, el azúcar y el arroz fueron los dos productos alimenticios más importantes que los europeos introdujeron en suelo americano. El arroz, que necesita un clima cálido e irrigación, había sido introducido en España por los musulmanes en el siglo VIII, de donde su cultivo se extendió a Italia, y de aquí, a su vez, fue trasplantado a Carolina del Sur hacia 1700. El azúcar (término árabe) tuvo una historia más o menos similar en sus comienzos, pero a fines de la Edad Media su importación desde el Oriente Próximo se había convertido en un elemento cada vez más importante del comercio genovés y veneciano, si bien la caña crecía también en España y en Sicilia. Fue llevada al Nuevo Mundo en el segundo viaje de Colón, pero el cultivo a gran escala no se generalizó hasta mediados del siglo XVII, cuando los plantadores esclavistas de las Antillas francesas y británicas copiaron los métodos e instrumentos de los holandeses. Hacia 1700 el azúcar podía comprarse en Inglaterra a 12 peniques el kilo; la miel perdía así, finalmente, su preponderancia como producto edulcorante desde tiempos inmemoriales (p. 72).

El azúcar bruto se elaboraba en las factorías de las Antillas, donde los trozos de caña se prensaban

en trapiches accionados o por viento o por agua. Posteriormente se sometían a sucesivas cocciones, durante las cuales el jugo se convertía en un jarabe, mientras que los desechos y las impurezas se retiraban a intervalos. Todo ello producía, al fin, una solución tan concentrada que, al enfriarse, cristalizaba; una vez separados los cristales, el jarabe o melaza proporcionaba los elementos para la fabricación de ron por fermentación y destilación. En Europa el azúcar sufría un ulterior refinado: se hervía una solución del producto sin refinar en una mezcla que contenía agua de cal y jugo de plantas, hasta que quedaba completamente claro. Una vez filtrado por medio de un paño y concentrado por evaporación, se dejaba cristalizar en moldes de loza, que les confería esa forma característica de pan de azúcar.

El té, el cacao y el café eran desconocidos en Europa. El primero se cultivaba en China; los demás, en el Nuevo Mundo. Las propiedades estimulantes del café, de todos modos, parecen haber sido constatadas por primera vez en Etiopía, en 1450. Vía Aden se difundió por el mundo islámico, y de éste por el cristiano, llegando a París en 1643 y a Oxford en 1650. La fuerte influencia que pronto ejercieron los cafés en la sociedad y en la vida política ilustra las consecuencias de gran alcance que pueden derivarse de las innovaciones secundarias. Los holandeses llevaron el cafeto sucesivamente a Java, a las Guayanas y, finalmente, al Brasil. Durante el siglo XVIII, el té —llevado por primera vez a Europa, que se sepa, por los navíos de la Compañía Holandesa de las Indias Orientales, en 1609— se convirtió en una bebida habitual entre todas las clases de la sociedad inglesa, y lo mismo sucedió con el café en otros países europeos. Sin embargo, la moda de beber chocolate dependía de la abundancia de azúcar, pues no era agradable tomarlo sin endulzar. Si bien ya en 1520 se conocía en España el chocolate en forma de tableta, fácil de comer, su popularidad como alimento barato y útil data en Gran Bretaña, como

mucho, de los años del presupuesto de Gladstone para el libre comercio (1853).

El tabaco vino también del Nuevo Mundo, siéndole ofrecido a Colón cuando arribó por primera vez a las costas americanas. En un principio se usó en Europa como medicina, en la creencia de que los nativos del Brasil lo empleaban para «disipar los humores superfluos del cerebro». A fines del siglo XVI era cultivado comercialmente en Europa: en España, en 1558, y en Gloucestershire, en 1586, por emigrantes que volvían de Virginia. Aunque la planta se difundió de Europa a Turquía y al Cercano Oriente, la dirección principal de su desarrollo fue la que se inició cuando las simientes provenientes de las plantaciones de la América española fueron llevadas a Virginia en 1612. El tabaco en polvo fue introducido en Portugal para ser utilizado como rapé en 1558, y a raíz de esto su venta se desarrolló. La manufactura de tabaco y rapé no experimentó nuevos avances en las técnicas, pero su preponderancia en las épocas de los Estuardo y de los Hanover es paralela al creciente uso de bebidas espiritosas. Del grano fermentado se fabricaba aguardiente *(aqua vitae);* la ginebra pasó de Holanda a las Islas Británicas; los vinos solían ser reforzados con brandy, y el whisky, destilado de la cebada escocesa e irlandesa, se convirtió en un importante capítulo de los aparadores ingleses. De ahí que surgiera un amplio interés por todo lo concerniente a la destilación.

Sin embargo, los productos ultramarinos no pudieron sustituir por largo tiempo a los cereales alimenticios de Europa, donde la fabricación de harina era una de las industrias principales, y utilizaba molinos de viento y de agua. Pese a que los principios básicos del proceso de molienda permanecieron inalterados —o lo que es lo mismo, se siguió moliendo el grano entre una piedra fija y otra giratoria—, hubo varias mejoras de detalle. Las muescas grabadas en ambas piedras eran un factor clave, ya que desmenuzaban y permitían aventar la harina, al salir ésta

hacia la circunferencia, y se desarrollaron varios modelos característicos (fig. 19). La labra de las muelas era efectuada bien por el mismo molinero, bien por un artesano ambulante, y las mismas piedras se traían a veces de lugares remotos, pues su textura tenía la mayor importancia. Así algunas piedras de molino inglesas fueron traídas de Andernach, junto al Rin, y las piedras francesas se exportaban incluso a América. Los molinos eran numerosos y, por consiguiente, pequeños; cada uno servía a su localidad, pues antes de la revolución industrial no había gran aliciente para transportar grano a largas distancias para ser molido.

Fig. 19. Labra de piedras de molino. En detalle se muestran algunos tipos de dibujo tradicionales: A) últimos tiempos de Roma; B) siglo XVIII; C), D) y E) siglo XIX; F) y G) ruedas dextrógiras y levógiras con dibujo de cuatro cuartos.

Gracias a la imprenta pronto apareció el libro de cocina, que tendió a igualar el modo de comer los alimentos, así como el modo de cocinarlos. El siglo XVI conoció la implantación del uso de la cuchara; el XVII, el del tenedor de tres y cuatro púas, para llevarse la comida a la boca, pues el prototipo medieval de dos púas había sido usado principalmente para servir. Los recipientes individuales para la co-

mida y la bebida llegaron también a ser de uso común, con el consiguiente incremento de las industrias del peltre, la alfarería y el vidrio; el beber en vaso llegó a ser común entre las clases acomodadas hacia 1650. Con respecto a los utensilios de cocina, la mejora más importante fue la introducida en el asador. Este giraba gracias al empuje de un peso, a un mecanismo de relojería, al movimiento regular que realizaba un perro en un «tambor de perro» (especie de molino de rueda, que sobrevivió hasta el siglo XIX), e incluso al impulso de un ventilador movido por el aire caliente que ascendía por la amplia chimenea de la cocina.

EL PROGRESO DE LA AGRICULTURA (ENTRE 1500 Y 1750)

En Europa el progreso agrícola fue extremadamente irregular. La dieta superior de los ingleses y los holandeses, acusados por sus vecinos de glotones, era consecuencia de una técnica superior. Alemania necesitó un siglo o más, después de finalizar la Guerra de los Treinta Años en 1648, para devolver a su agricultura la prosperidad de que había gozado a fines de la Edad Media: los salarios reales de Alemania en 1700 eran, al parecer, inferiores en un 50 por 100 a los de 1500. Los dos avances principales consistieron en primer lugar en que la oveja reemplazó al cerdo a medida que las superficies boscosas fueron disminuyendo gradualmente, y en segundo lugar, en que la introducción de forrajes de invierno para el ganado —práctica llegada de Italia, vía Flandes— permitió mantener una mayor cantidad de ganado a lo largo del invierno. El suelo francés, en su conjunto, estaba cultivado peor de lo que daba a entender la glorificación de los campesinos hecha por los fisiócratas del siglo XVIII. Salvo en el cultivo intensivo de las granjas a pequeña escala de los alrededores de París, del oeste y del noroeste, Francia

continuó siendo un país dotado de sistemas medievales de rotación de cultivos, con escasa selección animal, y con aperos anticuados. Los holandeses, por otra parte, importaban existencias de grano para la que era entonces la región más densamente poblada de Europa, mientras que ellos mismos cultivaban cebada y lúpulo para elaborar cerveza, tabaco y una gran variedad de cultivos industriales (parte de los cuales se destinaban a la exportación), y se habían hecho ya famosos por su mercado de hortalizas, frutas y tubérculos. Aparte de ganar nuevas tierras al mar, lo cual reviste gran importancia, su secreto era el cuidadoso laboreo de pequeñas parcelas de terreno —que aún se complicaba más con cultivos de ciclos de nueve años— y la aplicación regular de fertilizantes obtenidos del ganado y de los desechos industriales y urbanos.

En Inglaterra, el siglo XVI presenció el surgimiento de la horticultura y de una notable, aunque empírica, literatura agrícola. Sin embargo, es de destacar que incluso los esfuerzos de la Royal Society no produjeron ningún cambio general en los cultivos o en los medios agrícolas, pese a que la mejora en los oficios y en la industria era uno de sus objetivos principales, y a que se fundó el Georgical Committee para estudiar las prácticas agrícolas a los dos años de que la Sociedad recibiera su primera cédula real (1662). Los últimos años del siglo XVII fueron también testigos de grandes inversiones de los beneficios comerciales en las granjas y haciendas y del restablecimiento de un equilibrio muy positivo entre el cultivo del grano y la producción de lana. Esto allanó el camino para el trabajo de innovadores como Jethro Tull, Charles Townshend y Robert Bakewell, quienes introdujeron técnicas perfeccionadas y nuevos y útiles cultivos del extranjero, incluyendo el nabo, cultivado en Holanda, y el trébol de España. Lo más destacado de los ingleses era su sistema social, el cual concedía a los terratenientes que poseían capital suficiente para experimentar un prestigio que

estimulaba la imitación en individuos menos importantes.

Considerando los útiles particularmente asociados a las mejoras de la agricultura a lo largo del siglo XVIII, el lugar principal le corresponde al carro de dos y tres toneladas y en sus dos versiones: el carro de caja profunda (fig. 20), que era también corriente en el resto de Europa, y el gran carro del oeste de Inglaterra (fig. 21). Estos se usaban en las granjas grandes, las cuales desarrollaron asimismo modelos normalizados de guarniciones para caballos.

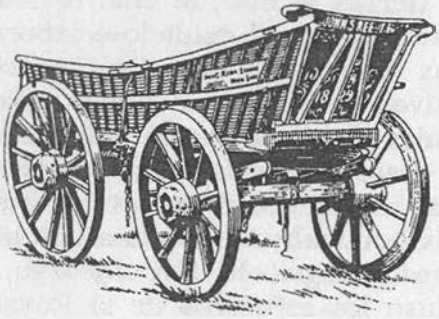


Fig. 20. Carro de caja profunda del siglo XIX, de Lincolnshire.

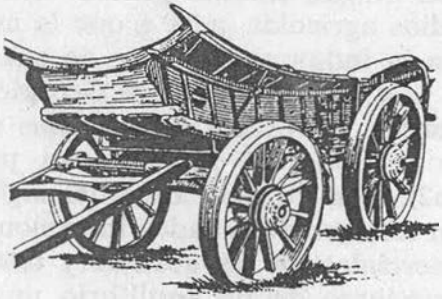


Fig. 21. Carro de arco. de Wiltshire.

Hacia fines del siglo XVIII las guarniciones de los caballos eran casi las mismas que hoy en día; su elemento esencial era la collera, cuidadosamente diseñada; puesto que los caballos trabajan tirando de la collera, en los distritos montañosos se fue perfeccionando un modelo más ligero y ajustado, para adecuarse a los cambios frecuentes de nivel. Las hoces para setos y las podaderas, más pequeñas, fabricadas

por los herreros locales de acuerdo con los modelos locales tradicionales, pertenecen a una Inglaterra nueva, en la que los terrenos comunales, los baldíos y los páramos están dando paso a campos vallados, por lo que los oficios de cercador y bardador han adquirido cierta importancia.

Pese a su relevancia, tales innovaciones ocuparon un lugar secundario frente al sistema de cultivo científico introducido por Jethro Tull, en su lucha contra las costumbres antieconómicas de los campesinos. Su principal invención fue, en 1701, una sembradora para introducir las semillas en los surcos (fig. 22). Esto dio resultados bastante superiores no sólo a los de la siembra a voleo —si bien este método perduró también hasta finales del siglo XIX—, sino a los de la práctica común, que consistía en dejar caer una gran variedad de semillas en una serie de agujeros hechos uno a uno por medio de un almocafre de punta metálica. El caballo que tiraba de la sembradora también lo hacía de una grada que iba detrás, destinada a cubrir la simiente. La plantación regular de las semillas en surcos, a su vez, hizo que fuese posible el uso del arado pequeño para binar, que Tull introdujo en Francia en 1714. Su plan general de conservar el suelo limpio y suelto por medio de una labranza continua tras la siembra tuvo un especial éxito con los nabos, pero también

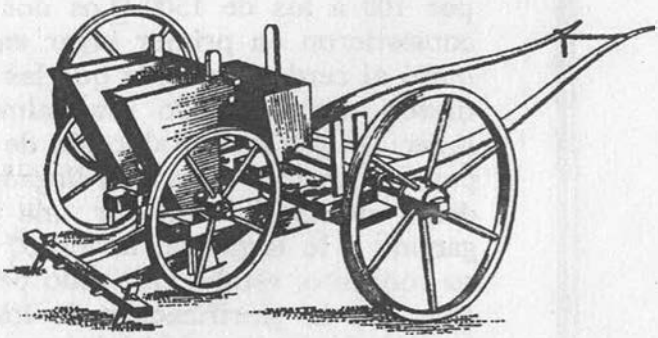


Fig. 22. Sembradora mecánica de Jethro Tull, según los planos originales, 1701.

demostró que podía hacer que el trigo creciera por encima del término medio empleando tan sólo un tercio de las semillas utilizadas habitualmente en un campo sin abonar durante trece años consecutivos. Las líneas rectas de los sembrados modernos y sus abundantes cosechas —la productividad del trigo se ha triplicado desde la Edad Media— deben mucho a los admiradores e imitadores de Tull, tanto entre la nobleza y clase media inglesas como entre la terca Scottish Society of Improvers.

LOS TERRENOS GANADOS AL MAR

Un rasgo crucial de los siglos XVI y XVII fue la conquista de nuevos terrenos, que varió el aspecto de amplias zonas de los Países Bajos, y aumentó los recursos agrícolas de Italia, Francia e Inglaterra. En Holanda la conservación de los terrenos ganados al mar había sido un grave problema durante toda la Edad Media, porque el período en que los trabajos romanos cayeron en desuso coincidió con un incremento de las lluvias y con el hundimiento del nivel del suelo, estimado en 9 cm cada siglo. El Zuiderzee alcanzó su máxima extensión hacia 1287, año en que 50.000 personas desaparecieron en el transcurso de una tormenta. Forzosamente los holandeses habían llegado a ser expertos en la construcción de diques y en la evacuación del agua por medio de canales, y ya en 1106 fueron invitados a poner en práctica sus conocimientos más al este, en Alemania. Sin embargo, al final de la Edad Media, habían perdido más tierra de la que habían ganado al mar.

Una obra general sobre construcción de diques escrita en Holanda hacia 1578 nos muestra que en la época del autor los sistemas de construcción y protección de diques eran sumamente toscos comparados con los actuales. El material empleado era la arcilla glaciar, y la cara que miraba al mar se hallaba protegida con barro y mimbres, algas, paja, cañas y, por último, empalizadas de estacas, cuyos

intersticios se rellenaban con haces de leña. En el siglo XVI los holandeses desarrollaron una nueva técnica de desecación, por medio de la cual se ganaban sistemáticamente para la agricultura las tierras anegadas de las regiones del interior del país. La zona que debía drenarse era rodeada de un fuerte banco de tierra, cuya construcción creaba automáticamente un profundo canal en derredor del banco. Sobre el banco se construían una serie de molinos de drenaje, que bombeaban el agua desde el interior del banco al canal exterior, de donde pasaba a otro canal o a un río. La noria movida por un molino de viento, usada para este fin, es una invención del siglo XIV.

Uno de los múltiples planes abortados para desecar las Lagunas Pontinas, infectadas de malaria y de cerca de 75.000 ha de extensión, fue ideado por Leonardo de Vinci: en muchas otras partes de Italia existían problemas similares de regulación de los ríos, en interés de la salud y de la navegación, así como del aprovisionamiento de alimentos. Por eso, desde las más tempranas fechas, los científicos italianos se han interesado por el estudio del comportamiento de los ríos. Galileo fue en una ocasión superintendente de aguas en Toscana; científicos italianos posteriores continuaron sus estudios, y antes de fines del siglo XVIII un matemático italiano pudo escribir que en Italia «surgió la arquitectura hidráulica, allí progresó y casi alcanzó la perfección».

A este respecto, Francia e Inglaterra deben más a Holanda que Italia. Enrique IV de Francia envió a buscar en los Estados Generales de los Países Bajos «cuatro especialistas con experiencia en el arte de construir diques», para ayudarle en sus campañas militares, pero más tarde decidió que ganar terrenos al mar era también una forma de restaurar la prosperidad de su afligido país. Gracias a una serie de edictos se creó una Asociación —a imitación de una similar Junta de Control existente en Holanda— cuyos trabajos continuaron hasta la revocación del Edicto de Nantes de 1685.

Las tierras pantanosas inglesas cubrían una extensión de cerca de 285.000 ha, ampliamente protegida por los antiguos diques de la costa de Lincolnshire, y drenada por cuatro ríos de movimiento lento; hasta 1540, en cierto grado al menos, su cuidado estuvo a cargo de las grandes abadías de la zona. La esperanza de conseguir grandes beneficios de las inversiones de capital fue lo que entonces, y durante largo tiempo, atrajo la atención hacia el drenaje del Gran Nivel, entre el Nene y las tierras altas de Norfolk. Hacia 1589 la casi totalidad del terreno estaba por encima del nivel del mar, por lo que ganarlo dependía básicamente de cavar canales adecuados a lo largo de breves caminos hasta el mar: para ello no se requería maquinaria alguna. Pero sólo en 1630 un grupo de personas, encabezado por el conde de Bedford, puso manos a la obra, bajo la dirección del famoso ingeniero holandés C. Vermuyden, que había drenado ya unas 28.000 ha en Yorkshire (Hatfield Chase). El plan, completado en 1653, dependía de un sistema de drenaje por gravitación; su propio éxito fue su perdición, ya que cuando el agua era expulsada las turberas, e incluso el terreno sedimentario, se contraían, y el resultado era que la superficie de la tierra bajaba, y el agua cesaba de correr.

Hacia esta época, sin embargo, los molinos de drenaje del tipo holandés comenzaron a conocerse en las Islas Británicas. Un libro, titulado *The English improver improved* (1652), habla de molinos de sangre y molinos de viento, y describe la elevación del agua por medio de una noria, «o bien por medio de un buen sistema de cangilones o arcaduces». Antes de finalizar el siglo XVII el molino de viento era ya utilizado en Inglaterra para bombear agua, pero aun así este importante y útil avance tecnológico apenas benefició a las tierras pantanosas, en una época en la que la opinión política no simpatizaba con la creación de ninguna Junta central, tal como las que se habían formado en los Países Bajos y en Francia.

3. PRODUCCION PARA FINES DOMESTICOS

LA ALFARERIA DE LOS PRIMEROS TIEMPOS

La alfarería puede haber derivado de la cestería, pero es seguro que no pudo convertirse en un elemento importante de la actividad humana hasta que el hombre neolítico no adoptó un modo de vida sedentario: hasta entonces había asado la caza en un espetón, pero los cereales y las legumbres, que ahora componían ya una gran parte de su dieta, requerían una cocción lenta en un recipiente que resistiera al calor. Entonces, y tan sólo entonces, el hombre tendría ocasión de utilizar recipientes a gran escala, los cuales podían fabricarse tan fácilmente como se rompían. Estos recipientes se producían con facilidad, pues la arcilla es abundante, y los efectos endurecedores del fuego sobre ella pudieron ser descubiertos en el momento en que el hombre primitivo usó por casualidad un trozo de arcilla para su fogón. El hecho de que la alfarería sea frágil, fácil de desechar, y aun así, en última instancia, indestructible, es, naturalmente, una combinación de cualidades que le han conferido un papel tan amplio y preponderante en los descubrimientos arqueológicos. Pero si bien la alfarería aparece en los asentamientos neolíticos antes del surgimiento de las culturas urbanas, su desarrollo debe asociarse fundamentalmente con estas últimas; los pobladores y colonos la introdujeron en las regiones más remotas, y habitualmente sufrió un retroceso cuando disminuyó la influencia urbana. Britania, por ejemplo, tenía en el segundo milenio a.C. mucha alfarería de buena calidad, de origen mediterráneo; pero durante la mayor parte del milenio siguiente, en cambio, la cantidad fue muy pequeña.

No obstante, la alfarería merece un lugar destacado entre las artes domésticas, por ser una de las que relativamente menos ha cambiado en cuanto al producto y al uso a lo largo de los siglos. Un gran invento, el de la rueda de alfarero, tuvo lugar hacia el 3000 a.C., pero no se produjo ningún progreso técnico ulterior de importancia revolucionaria hasta el siglo XIX d.C. El alfarero ha tenido siempre tres tareas principales que cumplir: seleccionar, mezclar y humedecer la arcilla; dar forma y cuerpo al recipiente, y llevar a cabo los procesos de secado y cocción, por medio de los cuales el producto acabado se endurece y convierte en algo duradero. Se sabe muy poco sobre los primitivos métodos de selección, lavado y amasado de la materia prima con agua. Fue el segundo proceso, el modelado, el que fue transformado por la invención de la rueda de alfarero. La masa de arcilla, a la que el alfarero se dispone a dar forma, al ser colocada en el centro de la veloz rueda de modelar —por lo menos 100 revoluciones por minuto—, puede tomar fácilmente cualquier forma circular deseada a la más ligera presión de la mano del alfarero. Con la rueda el alfarero podía hacer en pocos minutos lo que sin él le hubiera llevado a un principiante varias horas, alcanzando al mismo tiempo una perfecta simetría. Así, el impulso de la rueda, que reduce el esfuerzo muscular por parte del alfarero, dio al hombre uno de los primeros en la larga serie de aparatos que servían para ahorrar fuerza de trabajo, a partir de los cuales se ha ido desarrollando la industria moderna. No ha sido encontrada completa ninguna de las ruedas primitivas, y no tenemos medios para determinar cómo se originó el invento, si bien parece haber surgido de la práctica de usar una placa giratoria, a fin de tener a mano todo el contorno de la vasija que estaba siendo modelada (fig. 23). En su forma menos elaborada, la rueda giraba sobre un pivote encajado en un hueco hecho en una roca. Haciéndola girar a mano, la rueda podía recibir un impulso suficiente para mo-

delar una vasija, pero al ampliarla con el fin de incrementar el impulso, el pequeño disco central, sobre el que se sujetaba la vasija, quedaba en una posición menos cómoda para el alfarero. De ahí la práctica, que parece haber surgido hacia el 2000 a.C., de obtener el impulso necesario de una segunda rueda, situada bajo la primera, y movida, por lo general, por los pies del alfarero, o quizá por un palo, o bien por un auxiliar, encargado de manejar una correa. Hacia el siglo VI a.C. la rueda se usó también como verdadero torno (p. 134); por ejemplo, para hacer muescas y moldes.

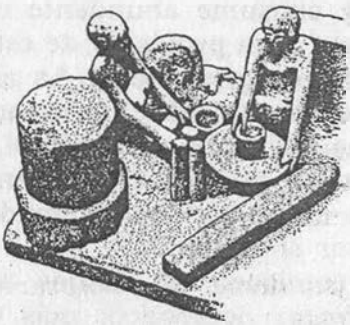


Fig. 23. Alfareros con placa giratoria y horno. Modelo egipcio, hacia 1900 a. C.

A fin de hacer menos porosas las vasijas, era corriente cubrirlas, una vez secas, pero no cocidas, con una capa de arcilla más fina, que podía pulirse con un guijarro u otro utensilio, para cerrar los poros, y hacer el producto impermeable. Desde fechas muy tempranas las vasijas grandes se elaboraban comúnmente en dos tiempos, para que su peso no las hundiese antes de secar; cuando se habían secado parcialmente eran unidas por una tira. El mismo procedimiento se usó para los recipientes de cuello estrecho.

Durante la cocción sobrevenían diversos cambios en la arcilla, cuya naturaleza dependía de numerosos factores, pero particularmente de los concernientes a la temperatura final que se alcanzaba. Probablemente, el hombre primitivo hubo de contentarse con

temperaturas de cocción del orden de los 450 a 700° C, lo cual no hacía más que liberar toda la humedad que había en la arcilla. A temperaturas superiores (750 a 800° C), como las que podían obtenerse en grandes fuegos al aire libre o en simples hornos, se verificaban cambios químicos en las arcillas, que las hacían más resistentes y menos porosas. A temperaturas aún mayores incluso se vitrificaban, es decir, se fundían en una sustancia cristalina, pero tal grado de calor sólo se obtiene fácilmente con hornos de tipo relativamente moderno: en la Antigüedad las temperaturas de cocción superiores a los 1.000° C fueron muy raras. La cocción es un largo proceso, y consume abundante combustible, siendo esencial una gran provisión de este último para cualquier trabajo a gran escala. La madera debió de ser el principal combustible, pero en caso de necesidad también se utilizaron el estiércol, la turba y la hierba. Parte de la producción alfarera podía ser vendida o trocada sin cocer, completando el comprador el proceso por sí mismo.

En un comienzo las vasijas debieron de secarse sobre el hogar doméstico; más tarde, en un fuego especial, alimentado con ramas, y después, en un fuego encendido durante varios días, bajo una capa de tierra u otra materia que impidiese la entrada del aire, siguiendo el modelo del fuego de los fabricantes de carbón vegetal. Se cree que este último tipo de fuego podía alcanzar una temperatura de 750 a 800° C, unos 150° por debajo de lo que se necesitaba para las vasijas atenienses cocidas en hornos. No sabemos cuándo comenzó a utilizarse el horno, pero podemos reconstruir algunos modelos, que pueden ser datados en el cuarto milenio a.C. Hasta los tiempos modernos el horno vertical fue más corriente que el horizontal: tenía, sobre todo en los países que empleaban ladrillo, una estructura en forma de cúpula, de la que los gases calentados que se generaban en el fogón escapaban a veces a través de una chimenea. Las vasijas destinadas a la cocción eran co-

locadas sobre un suelo de arcilla perforado; luego el horno se sellaba: el calentamiento indirecto evitaba que se estropeasen a causa de los humos y tiznes del combustible. Los dos problemas —el de la retención de los gases calientes durante un tiempo suficiente para que fueran totalmente efectivos, y el de la consecución de una temperatura igual tanto en la base como en el fondo del horno— se resolvieron parcialmente con el horno horizontal, en el que el canal está colocado horizontalmente entre el fogón y la chimenea, que se hallan en los extremos opuestos del horno. Se han encontrado algunos de éstos en la Britania romana, pero el horno vertical continuó siendo de uso más común hasta los tiempos modernos, excepto en China.

La naturaleza del proceso hizo del alfarero, ya en tiempos muy antiguos, un especialista dedicado exclusivamente a estas tareas. El sentido estético que desarrolló, y que proporciona interés al estudio de las vasijas primitivas, fue a la vez resultado y causa de su posición especial. La pintura fue una forma primitiva de decoración; se utilizaban mezclas de tierras naturales, sin cocer, así como colores orgánicos e inorgánicos, en una etapa posterior. Las formas fueron, en cierta medida, una imitación del trabajo en madera y mimbre, y más tarde hubo, en ocasiones, algunas imitaciones bastante extrañas de vasijas de chapa metálica. Se dice que la amenidad del proceso de torneado y la comodidad que la rueda daba al trabajo del alfarero contribuyó a desarrollar el sentido de la forma; indiscutiblemente, la alfarería se desarrolló con sorprendente rapidez tanto en el aspecto artístico como en la perfección de la elaboración. Primero en Corinto y luego en Atenas, la manufactura de la alfarería, destinada a un vasto mercado ultramarino, alcanzó un grado de concentración industrial que casi rivalizó con el de los tiempos modernos, mientras que la belleza de los mejores productos áticos ha permanecido inigualada. Los logros de algunos de los primeros orfebres,

como, por ejemplo, en Ur (p. 174), dependieron en parte también de la maestría de los alfareros, quienes suministraban a los fundidores moldes fabricados con arcilla cocida.

LOS PRIMEROS TEXTILES

Los ágiles dedos capaces de modelar la arcilla tuvieron desde los primeros tiempos un tipo de tarea paralela en el caso del tejido de fibras animales o vegetales para fabricar determinados objetos útiles al hombre. Es probable que los cestos, las esteras e incluso las sogas fuesen hechas ya por el hombre paleolítico antes que los tejidos, que requieren la utilización de fibras hiladas o retorcidas y un modelo de tejido con trama y urdimbre; esto, sin embargo, es una conjetura. Los primeros ejemplares que han llegado hasta nosotros son egipcios; datan de los comienzos del quinto milenio a.C., e incluyen esteras, cestería enrollada y tejidos primitivos; los primeros ejemplares de sogas egipcias son de algunos siglos más tarde.

Si exceptuamos el hecho de que las cuerdas, en nuestros días, son manufacturadas a veces con fibras artificiales a causa de su duración, es válido afirmar que la cestería, la esterería y la cordelería tienen una historia continuada de por lo menos siete mil años, en los que algunos de los materiales, las técnicas principales e incluso los modelos apenas presentan ningún cambio. Un especimen de cestería enrollada del 3400 a.C. nos ilustra a la vez sobre el sistema de fabricación, que consiste en coser el rollo partiendo de la base, y sobre la forma de decoración, con puntadas verticales de color a través de dos hileras, que aún está en vigor. Lo mismo puede decirse respecto al uso de materiales trenzados para cestas, a la fabricación de esteras de junco y a un tipo de cestería más complicado ejecutada sobre un bastidor de estacas. La fabricación de cuerdas, de la que dependían

las operaciones del transporte por mar y la construcción a gran escala, no era un arte doméstico, pero puede incluirse en este apartado, pues el proceso es igual al del tejido. La caña, el cuero, la fibra de palma y el esparto se hallaban entre los materiales utilizados antiguamente. Normalmente, eran necesarios tres procesos distintos: retorcer las fibras hasta formar hilos, los hilos hasta formar cabos y, finalmente, los cabos hasta formar sogas; a fin de evitar que la cuerda terminada se deshiciese, se retorcían los cabos, en su interior, en la dirección opuesta a la que iban a ser retorcidos juntos. En las cordelerías egipcias solían trabajar dos hombres, uno de los cuales retorcía los cabos y otro los iba cerrando, al tiempo que mantenían la soga colgada entre ellos, mientras que un tercer hombre, situado en medio, iba haciendo con ella un apretado paquete ayudándose con un pasador.

La caña, el junco, la enea y la hierba se usaron, todos ellos, en la cestería antigua, pero el principal material textil del antiguo Oriente Próximo fue el lino, que se cultivaba también por sus semillas oleaginosas y que era ya bien conocido hacia el 3000 a.C. Con el fin de prepararlas para ser utilizadas, las fibras habían de separarse del resto del tallo enriándolas, para que perdieran su estructura habitual antes de rastrillarlas y cardarlas. El cáñamo fue la primera planta fibrosa de China; fue conocida en Europa oriental hacia el 500 a.C., pero se utilizó principalmente para cuerdas. Aunque quizá el algodón provenga originariamente de Arabia, aparece en primer lugar en la India, y la seda en el Oriente Lejano. Los egipcios consideraban que la lana era impura, y si bien se confeccionaban en Mesopotamia y en el norte de Siria numerosos tejidos de lana, los restos más antiguos de cierta importancia provienen de Escandinavia, y datan del 1000 a.C. Sin duda, los climas más fríos estimularon su demanda en Europa.

Para conseguir un hilo utilizable, las fibras, del material que fuesen, habían de ser estiradas paralela-

mente y retorcidas juntas hasta formar un fino hilo continuo. Tal proceso, al que denominaremos hilado, debió de conseguirse primero de forma experimental al frotar las fibras entre las palmas de las manos, luego entre una mano y la mejilla o el muslo, dejando libre la otra mano para controlar el haz de fibras enmarañadas: la fibra hilada se devanaba entonces sobre un palo. El uso del palo, en un principio sólo para evitar enredos, evolucionó hacia la utilización de un huso de madera (fig. 24) u otro material, al que

Fig. 24. Huso de madera, proveniente de Kahun, Egipto. Hacia 1900 a. C.

se daba vueltas con el fin de hilar la fibra. El huso, que hasta el siglo XV d.C. fue en realidad la única ayuda mecánica que se poseía para hilar, podía ser accionado por la mano del hombre; pero comúnmente se suspendía con un peso encima, la nuez, que podía mantenerlo girando como un trompo durante algún tiempo. La acción del huso permitía obtener un hilo más uniforme que el que se conseguía utilizando sólo la mano; sin embargo, en los primeros tiempos fue corriente doblar el hilo para aumentar así su resistencia, antes de ser empleado para el tejido. La

rueca era un elemento menos importante; consistía en una vara de mayor longitud, que se usaba para tener a punto las fibras que iban a ser hiladas. Que el hilado era, en general, un trabajo realizado por mujeres, queda demostrado no sólo por los grabados primitivos, sino también por el uso continuado de la palabra «hilandera» en el sentido de «solterona» y del término «lado de la rueca» aplicado a la rama femenina de una familia.

El rasgo esencial del telar, que parece ser una invención neolítica muy antigua, era que proporcionaba un bastidor sobre el que podía ser tensado paralelamente un cierto número de hilos separados entre sí (urdimbre) a fin de entrelazarlos, en ángulo recto, con un hilo continuo (trama). Los beduinos usan aún un telar fijado al suelo, igual al que era común hace cinco mil años. Este poseía ya dos elementos esenciales: el lizo y la vara de calada. Los hilos inferiores se fijaban al lizo, que al elevarse formaba una calada a través de la cual pasaba la trama; los hilos alternos pasaban sobre la vara de calada, que era puesta de canto para formar la contracalada, a través de la cual la trama volvía a pasar de nuevo (fig. 25). Las

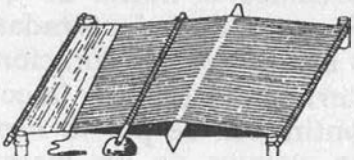


Fig. 25. Telar horizontal.

hileras de la trama eran entonces «batidas» con una vara para hacer que el tejido fuera más uniforme. Este mismo telar colocado verticalmente permitía al tejedor sentarse más cómodo, pero ello requeriría naturalmente una estructura más fuerte. Un tercer tipo de telar, que aún se usaba en Islandia hasta hace menos de cien años, tenía pesos de cerámica o piedra, de los que hay restos en Troya de mediados del tercer milenio a.C. Los hilos de la urdimbre se ataban en grupos a estos pesos; luego se tejía hacia

abajo, por lo que las posiciones del lizo y la vara de calada estaban invertidas. La forma más simple de tejido, conocido como tafetán, es también el más antiguo, y en él los hilos aislados se pasaban por encima y por debajo de una urdimbre única —como en los zurcidos—; esto se practica todavía hoy día. Cuando la trama y la urdimbre se duplicaron, o bien aumentaron por igual, este tejido se convirtió en cañamazo. Se podían introducir variantes de dos maneras principales: utilizando hilos coloreados, como en el tejido de un tapiz, donde la variación del color se halla en la trama, y aplicando el proceso que se llama «flotar», en el que algunos hilos se pasan por encima de más de un hilo, tanto en la trama como en la urdimbre. Pronto se logró un gran número de variaciones.

Como era de esperar, los tejidos más antiguos que han llegado hasta nosotros son de tafetán. Hacia mediados del tercer milenio a.C. se inicia su perfeccionamiento, y se desarrolla tan rápidamente que en la tumba de Tutânkhamón se descubrió un lienzo fino con 280 × 80 hilos por pulgada; sus maravillosos tapices incluyen un manto adornado con rosetas y una orla de lotos, con un collar de tres colores en forma de buitre con las alas desplegadas. Dos siglos más tarde en el cíngulo del faraón Ramsés III se despliega la más intrincada técnica textil, con dos calidades de tejido en una sola pieza, de 340 × 61 hilos por pulgada. La Escandinavia de la Edad del Bronce, por el contrario, sólo produce un tafetán muy basto, que cuenta con sólo 13 × 10 hilos por pulgada, aunque las prendas que han llegado a nosotros tienen interés puesto que están hechas exclusivamente de lana. Un ánfora griega del siglo VI a.C. nos muestra a varios hilanderos y tejedores; el telar, que se cree que alcanzó 1,5 metros de anchura y un poco más de altura, es del tipo que Homero pone en manos de Penélope o de Circe. No ha quedado un solo fragmento de tela de la Grecia antigua. En lo que respecta a los telares, sólo los chinos dispusieron de un tipo mejor que el

descrito, aunque los conocimientos textiles implícitos en sus fábricas de seda, que datan del año 1000 a.C. aproximadamente, no comenzaron a hacer sentir su influencia sobre el mundo occidental hasta los primeros tiempos de la era cristiana.

MARFIL, MADERA, CUERO, VIDRIO

Marfil

La eboraria, como la cestería, pronto alcanzó gran perfección, pero, a diferencia de ella, comenzó siendo, y es todavía, un oficio de lujo. En Egipto, Fenicia, Creta y también en Grecia fue usado sobre todo para mangos de cuchillo decorativos, artículos de tocador y estatuillas, así como para paneles para muebles, como los hallados en la tumba de Tutânkhamón, aunque también nos han llegado noticias del «gran trono de marfil» y los lujosos lechos de marfil de Salomón denunciados por los profetas. Los peines de marfil y los estuches con incrustaciones para joyas se fabricaban en Siria hace tres mil años, en buena parte tal y como se los fabrica hoy, mientras que no hay manos modernas que puedan superar la maestría de ciertas figuritas cretenses.

Los métodos artesanales se transmitían de padres a hijos. Esto sucedió incluso en tiempos modernos, cuando la primera exploración de la Costa de Marfil, al oeste de lo que hoy es Ghana, por marinos de Dieppe, proporcionó a este puerto una industria de talla de marfil que duró quinientos años. Por lo general los paneles de marfil se sujetaban a una base de madera por medio de unas espigas, que se fijaban a una cotana con un pequeño clavo y frecuentemente se hacían pequeñas incisiones en la parte posterior para facilitar la unión. Los mismos clavitos eran por lo común de marfil, como lo son aún, ya que el metal tiende a corroerse y causa manchas. El trabajo se realizaba al parecer con pequeñas sierras, escoplos y

taladros que tenían brocas de un tipo que aún se usa para colocar las clavijas de las cuerdas de los pianos. Se empleaba una forma simple de torno en Asia para la eboraria, pero fueron los romanos quienes primero emplearon la lima. Los altos costos del material daban lugar a que se hiciesen cuidadosos primores, como la unión de piececillas para hacer figuras compuestas y el encubrimiento de los defectos.

Madera

El suministro de madera no estaba restringido, ni con mucho, en el mismo grado que lo estaba el de marfil, pero no era posible realizar un trabajo preciso sin una madera compacta, que era difícil de encontrar en cantidad en Egipto. De esta forma, el cedro, el ciprés y el tejo fueron importados habitualmente por los egipcios de Siria y del Líbano, mientras que el tributo en madera pagado por el Sudán dio origen a la palabra «ébano», que es egipcia. Con esta limitación podemos decir que la ebanistería, tal como la conocemos y entendemos hoy día, se practica desde la época en que se introdujeron en Egipto utensilios de cobre, unos cuatro mil años a.C.; la calidad lograda por los egipcios no fue igualada por los europeos hasta el Renacimiento.

Parece ser que algunas importantes obras de arte en madera fueron diseñadas por sacerdotes o por otras personas cultivadas afectas a la corte. Pero los artesanos parecen haber tenido una destreza polifacética en los trabajos de carpintería, ensambladura y marquetería (fig. 26). Solían utilizarse sierras y berbiquíes, y el pulido final se hacía por medio de frotadores de arenisca. Tiempo atrás, las diversas partes de los muebles se mantenían juntas atándolas con correas, pero hacia el año 2000 a.C. los sistemas de ensamblaje se hallaban ya muy adelantados. La cola del año 1600 a.C. era semejante a la de nuestros días, y se hacía probablemente de forma similar, hirvien-

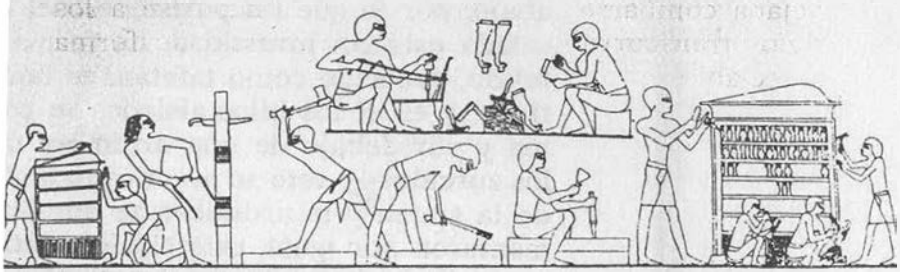


Fig. 26. Ebanistería. De una tumba de Tebas. Hacia 1440 a. C.

do hasta diluirlos huesos, pieles y pezuñas de animales. La tumba de Tutânkhamón muestra refinamientos tales como clavijas rematadas con botones de oro granulado, que fueron utilizados como ornamento para fijar una chapa de marfil a una arqueta; la chapa se usó mucho para hacer economías cuando se empleaban maderas valiosas.

El desarrollo de la ebanistería de lujo parece haber derivado, entre los egipcios, de la estatuaria a los cofres y arcas; obviamente, para estos usos las cañas, que se utilizaban mucho, eran poco apropiadas. Con el interés por los muebles surgió el problema de diseñar estructuras de lechos y sillas, a los que se adaptaban colchones o asientos, tejidos por separado. Pero, aparte de los muebles, también se fabricaron medidas para el grano unidas por cercos de madera curvada. Una tumba real que data del 2690 a.C., aproximadamente, nos informa sobre una artesanía que ya era tradicional. Mil años más tarde las tumbas reales de Egipto nos muestran asombrosos sarcófagos de madera de cedro, tallados con un grosor uniforme de cuatro centímetros, y no solamente presentan por fuera una forma humana, sino que cada contorno se repite en el interior, inversamente y con exactitud total. Un poco más tarde se llega a la asombrosa aunque barroca perfección de los muebles de Tutânkhamón, muy labrados, entre los que se cuenta una cama de ébano, hecha de tal modo que

dejaba combarse un colchón tejido que, pese a los siglos transcurridos, no se ha deformado de forma apreciable.

Cuero

El hombre paleolítico usaba las pieles de los animales que mataba o que encontraba ya muertos para vestirse y, en cierta medida, para construir tiendas y recipientes. Pero no sabemos cuándo aprendió el hombre a hacer más duradero el cuero, depilando y tratando las pieles con grasas u otros productos, lo que le proporcionó un aspecto semejante a un material textil, con algunas de las cualidades de los objetos de alfarería. Hay una gran cantidad de restos arqueológicos que muestran que el hombre hizo uso precoz de rascadores hechos de huso y piedra para depilar las pieles, pero la conveniencia de conservar sólo la capa intermedia —distinta de la epidermis, a la que estaba unida el pelo o la lana, y de la capa inferior de grasa o carne— sólo pudo aprenderse tras un largo período de tiempo, y debió de tardarse más aún en conseguir un método satisfactorio para preservarla. Los esquimales curan todavía sus pieles ahumándolas, y se dice que con frecuencia sus mujeres desgastan sus dientes hasta las encías en la tarea preliminar de mascar las pieles con el fin de suavizarlas previamente. Otros métodos primitivos de conservación son la salazón, el secado al sol y el engrasado abundante de las pieles una vez tensadas, método descrito en la *Ilíada*. El curtido en blanco, que fue un método muy usado en el antiguo Egipto y conservaba aún importancia en la Edad Media, implicaba la aplicación de alumbre, con frecuencia mezclado con sal, para lograr un cuero duro de color blanco, que luego se trabajaba sobre un bastidor curvo con el fin de ablandarlo. El proceso más importante, sin embargo, es el que emplea tanino, y se

cree que derivó del remojo de las pieles en las charcas de los bosques o del empleo de colorantes vegetales, provenientes sobre todo de la corteza del roble o de las bugallas de este árbol. El curtido se llevaba a cabo remojando las pieles en una serie de hoyos o cubas, utilizándose primero el líquido más antiguo y por tanto más débil; en la antigüedad el proceso completo podía durar quince meses.

El proceso de acabado podía ser de tres tipos. Con el fin de asegurar su duración, el cuero para suelas se martilleaba, mientras que el cuero para arneses se adobaba, es decir, se impregnaba de grasa cuando estaba aún húmedo una vez curtido. Al parecer, la piel de cabra se frotaba con el fin de conseguir lo que llamamos tafilete, y con este mismo proceso se producían arrugas en la piel de ternera. Para colorear el cuero se utilizaba un color rojo proveniente de los insectos de la coscoja, uno negro proveniente de la caparrosa y otros tintes de origen vegetal.

A partir del Mesolítico el cuero desempeñó un papel sumamente importante en la economía antigua. El cuero, con diversos grados de dureza y flexibilidad, sirvió para muchos de los fines a los que luego se destinarían la alfarería y los tejidos. El cangilón de cuero, del tipo aún utilizado en el cigoñal, el balón de cuero cosido, la funda para puñal, el jubón de cuero y muchas clases de guantes, sandalias y zapatos, todo ello nos da una idea de su continuidad hasta hoy y de que quizá esa continuidad fue mayor en el trabajo del cuero que en otros importantes trabajos artesanos. Cierta vasija griega (fig. 27) nos muestra a un zapatero del siglo VI a.C. cortando cuero: la cuchilla en forma de media luna que está usando se había utilizado en Egipto mil años antes; y una cuchilla de igual diseño puede observarse en las manos de los zapateros actuales. La talabartería fue otro de los oficios relacionados con el trabajo del cuero, de fundamental importancia para la sociedad, que se conservó por lo menos hasta 1900.

Fig. 27. Zapatero cortando cuero. De una vasija griega del siglo VI a. C. Los dibujos en detalle muestran: A) cuchilla egipcia; B) de la Edad de Hierro; C) europea medieval; D) moderna.

Vidrio

El vidrio es una sustancia rígida, no cristalina, que puede ser utilizado como sustituto de la alfarería, pero que cuenta con la especial cualidad de ser transparente o al menos traslúcido. Su más primitiva aplicación fue el esmaltado —esto es, el revestimiento con vidrio— de otros objetos, mientras que en tiempos más recientes ha permitido disponer de cristales para ventanas, espejos y elementos esenciales de los instrumentos ópticos. El vidrio era elaborado, por lo general, calentando una mezcla sin impurezas de sosa, cal y arena (o sílice) hasta que se fundía en un fluido vítreo, que debía ser enfriado o templado lentamente para evitar roturas y cristalizaciones. La historia del vidrio se asemeja a la del cuero en que los procesos más elaborados y los mejores productos de la antigüedad no experimentaron ningún perfeccionamiento sustancial casi hasta nuestros días. El vidriado de cuentas de esteatita se remonta en Egipto al

4000 a.C. aproximadamente, y la fabricación de objetos de vidrio sólido, que pueden considerarse como imitaciones de piedras preciosas, data aproximadamente del 2500 a.C., tanto en Egipto como en Mesopotamia. Los recipientes de cristal, de todos modos, no hacen su aparición hasta el 1500 a.C., más o menos, en tanto que la técnica de soplar el vidrio, que solemos considerar como el proceso fundamental en su fabricación, era nueva, pero estaba extendiéndose muy rápidamente a comienzos de la era cristiana.

El esmalte se fabricaba con los mismos constituyentes que el antiguo vidrio, pero con un porcentaje mayor de arena y una proporción menor de cal. Solía aplicarse como polvo humedecido, y luego se ponía al fuego. En cuanto a la fabricación de vidrio propiamente dicha, no disponemos más que de escasos datos sobre la forma en que se llevaban a cabo los dos procesos básicos: el calentamiento y mezcla de los materiales empleados para eliminar el exceso de gas y conseguir un producto homogéneo, proceso conocido como frita, y la fusión y temple. Los cristales de sosa se tornan líquidos a unos 1.000°C, lo que puede conseguirse con fuego de carbón vegetal, y es, como ya hemos señalado, la temperatura máxima que lograban alcanzar los antiguos alfareros. El cristal de potasa, entonces menos corriente, se funde a una temperatura inferior. Con uno y otro tipo las burbujas de gas a veces no desaparecían, pues el calor obtenido no había sido suficiente para expelerlas, y el vidrio también podía cristalizar y tornarse quebradizo si el enfriado en el temple no era suficientemente lento. El vidrio hecho de sosa, cal y arena pura es incoloro, pero siempre tiene algo de color debido a las pequeñas huellas de impurezas minerales, hecho cuyas ventajas se conocieron desde muy pronto: el cobre, por ejemplo, da un azul-verdoso oscuro. La mayoría de las arenas contienen compuestos de hierro que proporcionan al vidrio un color verde-marrón; los vidrios finos incoloros de la

antigüedad, en especial los de Alejandría, deben de haber sido hechos utilizando arenas silíceas puras.

Los primeros objetos de vidrio, incluyendo algunas figurillas bien acabadas, se hicieron en moldes de arcilla, en tanto que los sellos e incluso artículos de mayor tamaño se hicieron puliendo o tallando el vidrio, como si fuese piedra. Pero el método más general para fabricar recipientes de vidrio era meter un núcleo de arena, encerrado en un saquito de tela, en un crisol de vidrio fundido, hacerlo rodar sobre un banco de piedra hasta darle forma, quizá añadiendo pompas y anillos de vidrio de diferentes colores en el exterior para decorarlo, y luego quitar la arena del recipiente ya terminado, una vez enfriado. Esta última técnica provino probablemente de la elaboración de cuentas de cristal rodeando un núcleo de alambre con vidrio líquido, retirando el alambre una vez que el vidrio se hubiese enfriado y cortando el producto en trozos.

Tal era la técnica de la fabricación del vidrio en el segundo milenio a.C. Hacia el 1350 a.C. Egipto tenía factorías que fabricaban vidrio en cantidad; este oficio se difundió, sin duda gracias a los trabajadores emigrados, por todo el Oriente Próximo, pero no ha dejado huellas al norte o al oeste de Grecia. Tras una sensible interrupción que duró unos cuatrocientos años, los objetos de vidrio se hicieron de nuevo frecuentes hacia los siglos VIII y VII a.C., cuando fueron llevados por los comerciantes fenicios hacia las costas atlánticas, mientras que la fabricación de cuentas de vidrio se difundía por Europa, quizá incluso hasta Britania.

LA CONTRIBUCION DEL MUNDO GRIEGO Y ROMANO

Durante este período los progresos más revolucionarios se realizaron en la fabricación del vidrio. La técnica del núcleo de arena cayó en desuso, mientras que Egipto se puso en cabeza gracias a su produc-

ción de vidrio prensado, bellamente terminado por esmerilado y pulido. Unas «cañas» o varillas coloreadas se fundían juntas y después se cortaban transversalmente para hacer cristales policromos; esto alcanzó su culminación en mosaicos vidriados y copas como las que adornaban la mesa de los emperadores romanos. Pero el mayor cambio no provino de Alejandría, sino, con seguridad, de Siria, desde donde se difundió a través del mundo romano con una velocidad sorprendente en los primeros años del Imperio. Este cambio consistió en el arte de soplar el vidrio, que comenzó probablemente con el soplado de vasijas dentro de moldes; al ir aumentando la destreza, los moldes finalmente se desecharon. El vidrio soplado formaba una especie de burbuja en el extremo de una caña, que se moldeaba con unas tenazas; cuando aún estaba fundido se trasladaba a una segunda varilla, el puntel, que se clavaba en el vidrio por su base (pero sin atravesarlo); el proceso se completaba extrayendo la caña y dejando una boca que se retocaba con unas tijeras. Recalentando este vidrio cuando era necesario, el artesano podía soplarlo y tornearlo en casi cualquier forma, desde platos llanos de medio metro de diámetro hasta pequeños jarros metidos dentro de otros mayores. Hacia el siglo II d.C. la industria del vidrio se había difundido desde Italia a nuevos e importantes centros que usaban técnicas perfeccionadas en torno a Colonia y Tréveris, desde donde también llegó a Britania. Otros cambios técnicos menores se difundieron tan rápidamente que nos hacen suponer la existencia de un movimiento constante de vidrieros especializados desde los centros del Oriente Próximo a través de todo el Imperio. Los hallazgos que se extienden desde Afganistán hasta el Sahara, Escandinavia y las tierras altas del norte de Escocia nos demuestran la popularidad del vidrio imperial incluso entre los pueblos bárbaros.

Los siglos de la Pax Romana, con sus inmensas oportunidades para el comercio, tienen también una

significación culminante en la historia de la cerámica, los textiles y la ebanistería, sobre la que deberemos volver ahora brevemente. La alfarería griega alcanzó su máxima perfección con los vasos atenienses de los siglos VI y V a.C., tanto en lo que respecta a su decoración —sólo por la cual podemos juzgar la magnificencia de los murales y paneles pintados griegos, desaparecidos hace tiempo— como a su técnica. La decoración se aplicaba después de que el vaso se hubiese secado y adquirido una dureza semejante al cuero, pero antes de ser cocido, método facilitado por la maleabilidad de la arcilla ateniense, y que contribuía a lograr la suavidad de las líneas del dibujo; para los detalles se podía aplicar arcilla fresca. La superficie total del vaso se cubría con una capa fina de arcilla, sobre la que se esbozaba el dibujo con un palillo romo. Luego se pintaban las figuras, dibujando líneas en el interior de las siluetas y dando al fondo un color contrastado, frecuentemente rojo sobre negro, o negro sobre rojo (figs. 28, 29). La coloración exacta dependía de las condiciones del horno;

Fig. 28. La vuelta de Hefesto al Olimpo. De un vaso de vino ateniense del siglo V a. C.

el sistema consistía en cocer la vasija en tres etapas sucesivas, en las cuales, respectivamente, el aire entraba libremente, después era limitado, y finalmente entraba libremente de nuevo. Con el declive de Atenas a principios del siglo IV a.C. surgieron las alfarerías del sur de Italia, usando la misma técnica. Pero más al norte, en Toscana, los griegos encontraron un rival en los famosos búcaros negros de los etruscos, que llevaban un dibujo en relieve, tal como sería común en las vasijas griegas un siglo o dos después. Esto implicaba la preparación de un molde de paredes finas, sobre cuya cara interna se labraba un di-

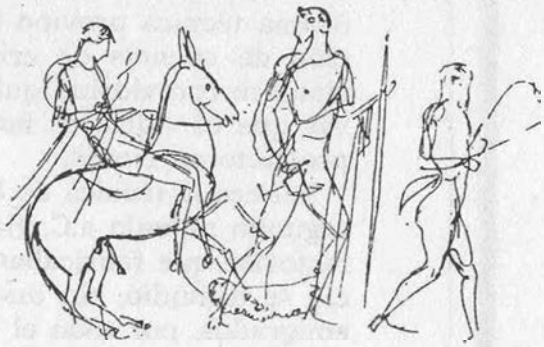


Fig. 29. Boceto preliminar para el vaso que aparece en la figura 28.

bujo; después este molde se sujetaba a la rueda del alfarero y se torneaba una vasija en su interior, presionando desde dentro con la mano para fijar el relieve. Los productos de dos o más moldes se combinaban con frecuencia a fin de lograr artículos tales como jarros.

Los romanos del siglo I a.C. fabricaban sus vasos aretinos por el mismo sistema del moldeado en relieve (fig. 30) en la antigua ciudad etrusca de Arezzo. El esmalte, tanto de los vasos aretinos como el de un tipo muy corriente de alfarería derivado de ellos, que los arqueólogos llaman *terra sigillata*, era de un

Fig. 30. Molde aretino, con dibujos grabados en hueco, siglo I a. C.

brillante color rojo coral. Los romanos fabricaron también vasijas con esmalte verdeazulado, que se han hallado asimismo en otros lugares del Imperio. Se trataba de un esmalte de plomo que fundía a una temperatura concreta, en el que se introducía el ánfora con el fin de revestir su parte exterior, en tanto que en el interior se aplicaba un revestimiento más delgado. De todos modos, muchos productos domésticos se dejaban sin esmaltar. La estatuaria y los relieves de terracota (fig. 31) eran otra de las prácticas griegas, etruscas y romanas, en las que el uso del molde sustituía al modelado directo. El uso de moldes, varios para cada figura, no sólo hizo posible la producción de figuras idénticas con rapidez, sino que las mismas figuras pudieran ser huecas.

La contribución de Grecia y Roma a las industrias textiles se basa en primer lugar y sobre todo en su elección de la materia prima. El lino más fino provenía de Egipto, pero disponían de su propia lana, cuya calidad mejoraron por medio de hibridaciones selec-

tivas. Las modernas tijeras de esquilar, manejables con una sola mano, fueron probablemente un invento romano. Se habla por primera vez de seda en Occidente en el siglo I d.C. como un producto oriental caro; las descripciones sobre el origen de esta materia prima son confusas. Sin embargo, el algodón, traído de la India, se cultivaba entonces en las riberas sudorientales del Mediterráneo, y había manufacturas de algodón a gran escala en la Malta roma-

Fig. 31. Guerrero etrusco en terracota (tamaño natural), siglo VI o V antes de Cristo.

na. Pero los cambios de importancia en el proceso industrial fueron pocos, y en ningún caso fundamentales. Los tintes usados siguieron siendo principalmente vegetales, aunque los romanos dieron importancia a la costosa tintura purpúrea de Fenicia, de color violeta oscuro tirando a marrón. Esta «púrpura imperial» se obtenía de una glándula existente en diversas especies de moluscos, que sólo proporcionaba unas pocas gotas a la vez; para mejores resultados se usaba el *murex brandaris*. Los químicos del siglo XX han descubierto que esta costosa materia tintórea, que da al kilo de lana el valor de 80 libras

esterlinas, está estrechamente relacionada con la tintura vegetal del índigo.

La civilización clásica tampoco introdujo cambios radicales en la ebanistería, si bien las herramientas perfeccionadas de la Edad de Hierro impulsaron el creciente dominio de la técnica. Los griegos contribuyeron al mobiliario únicamente con un nuevo tipo de silla, que tenía un asiento tejido sostenido por unas patas curvas y un respaldo también curvo, silla que, a diferencia de sus predecesoras egipcias, no era completamente rígida, sino que podía ajustarse a la comodidad del individuo. Los romanos fueron los primeros constructores de mesas fuertes y de alacenas con anaqueles. Los ejércitos que volvían de las campañas asiáticas en los dos últimos siglos a.C. trajeron consigo a Roma muchos lujos orientales, incluyendo los aparadores, y con la tendencia general hacia el lujo y la ostentación se generalizó el uso de costosos chapados y accesorios metálicos para muebles y adornos.

El instrumento nuevo más importante fue el torno, que quizá data del 1500 a.C., pero que fue usado por los griegos en toda su extensión para tornear madera. No existe ningún ejemplar antiguo, pero es probable que surgiese a partir del berbiquí de violín o quizá de la rueda de alfarero, despertando un especial interés en un pueblo que amaba la perfección geométrica. Las herramientas de hierro fueron perfeccionadas por los asirios en el siglo VIII, y los griegos contaban ya probablemente con los prototipos de las herramientas que serían de uso común entre los romanos. En casi todos los casos la herramienta de hierro era una mejora sobre su antecesora de cobre o bronce: las sierras de hierro fueron las primeras con dientes inclinados; las modernas limas y escofinas completaban el cepillado. Trabajando con tales instrumentos para una sociedad que amaba el lujo, los romanos usaron la mayor parte de las técnicas y muchos de los materiales exóticos, tales como el carey y el marfil, que harían su próxima aparición,

para satisfacer la demanda de los clientes adinerados en Europa occidental, tras un lapso de más de mil años.

Se sabe poco sobre el trabajo de la madera en la Europa del norte durante este largo período, pero la palabra «carpintero», que llega hasta nosotros a través del latín, y que tuvo su origen en el carro céltico de dos ruedas (*carpentum*), que los romanos admiraban mucho, es una advertencia de que los hombres de las áreas más boscosas no permanecían inactivos. Es muy difícil asegurar que los trabajos de ebanistería de los campesinos, con frecuencia realizados en casa, en la oscuridad del invierno nórdico, representen una tradición viva (o que al menos lo fue hasta ayer) que se remonta a una práctica neolítica, de trabajar la madera, distinta de la del mundo mediterráneo. Los hombres del norte hicieron un uso mucho más extenso de su abundante madera, comiendo en artículos de madera antes que en objetos de alfarería, y viviendo en casas de madera con preferencia a las de piedra o a las de ladrillo. Además, tenían una gran cantidad de maderas blandas, tales como el pino, el haya y el abedul, que podían trabajarse más fácilmente que las maderas duras preferidas por los artesanos mediterráneos y que se adaptaban mejor a las necesidades más elementales. Los nórdicos, en suma, eran más hábiles como carpinteros que como ebanistas, y manejaron más el hacha, la azuela y el cuchillo que las sierras y cepillos del sur.

LA EDAD MEDIA

La historia de la producción para fines domésticos durante la Edad Media es poco conocida, y quizá haya poco que añadir. Las técnicas de la baja Edad Media, por otra parte, nos son relativamente bien conocidas, pues sobrevivieron en la literatura impresa del siglo XVI y en los grabados en madera que la ilustraban. Un factor común a lo largo de todo el perío-

do es la deuda de Occidente con Oriente, con los griegos o los bizantinos, con el mundo islámico y con el Oriente Lejano. En el caso de la alfarería, que tomaremos como punto de partida, este influjo de Oriente sobre Occidente perdura hasta más allá de la Edad Media. Hasta 1709 la alfarería occidental no fue capaz de rivalizar con los logros de la porcelana traslúcida que se había fabricado en China desde la época de la dinastía Tang, un período de casi exactamente mil años.

Una consecuencia de la caída del Imperio romano en Occidente en el siglo V fue que en muchos sitios la rueda del alfarero cayó en desuso y las ollas se fabricaron de nuevo a mano con terrones o roscas de arcilla. Esto sucedió, por ejemplo, en Britania, excepto quizá en Kent, hasta el siglo IX; después la rueda volvió desde Renania, que, juntamente con algunas partes de Galia e Italia, había conservado ininterrumpida la tradición ceramista de Roma. La rueda de pie, característica de la Edad Media (figura 32), dejaba las manos libres al alfarero para dar forma a la vasija. Se hizo otro nuevo avance en el diseño de los hornos. La cocción adecuada de la alfarería requiere una elevación lenta de la temperatura del horno, una temperatura superior a la que es dado obtener con combustible de madera, y un enfriado lento. Un diseño mejor hizo más fácil el cumplimiento de estos requisitos, mientras que al mismo tiempo se ahorraba combustible. Hacia mediados del siglo XVI el uso de un reloj de arena por el maestro alfarero, para calcular el tiempo de la operación, presagia los instrumentos de control de los tiempos modernos.

Entre las modificaciones del diseño introducidas por el alfarero medieval se encuentra la base convexa de las vasijas, que se conseguía trabajando el interior de la arcilla con la mano o una almohadilla. Esto hacía que la base fuese más fuerte, al tiempo que la superficie convexa se rompía con menos facilidad ante los cambios de temperatura. Otra fue el

Fig. 32. Alfarero utilizando una rueda de pie. Agrícola: *De re metallica,* 1556.

cuello tubular de las vasijas, que se hacía enrollando una tira de arcilla alrededor de un dedo o un palo, usado también para hacer el agujero al que debía ajustarse. Una buena cantidad de ornamentos muy complicados se modelaban sobre las vasijas sin la ayuda de la rueda, incluso hubo un aparato para modelar tapones de rosca para las botellas de alfarería. Pero el único avance original y de importancia en Europa occidental fue el gres, que no provenía de la primitiva manufactura china, si bien fue imitada en el Oriente Próximo. El gres requiere una arcilla plástica y fina y un horno que pueda alcanzar una temperatura de cerca de 1.250° C, que produce una vitrificación parcial y da origen así a una vasija no porosa sin esmaltar. En Renania, donde se hacían artículos de esta clase desde la época de Carlomagno en hor-

nos bastante sencillos, el éxito se debió probablemente a la extrema plasticidad de la arcilla local. En el siglo XIV los alfareros renanos aprendieron a verter sal sobre las vasijas en la última fase de la cocción para producir el vidriado a la sal. El Limburgo neerlandés rivalizaba con Renania, pero en Inglaterra no se fabricó un gres como éste hasta cerca de 1684.

Parte de la influencia oriental era bizantina. Por ejemplo, el uso de barnices de plomo, que se había abandonado en Occidente tras la caída del Imperio romano, debió en parte su revivificación en el siglo XI a su uso continuado en Bizancio durante la Edad Media. La decoración policroma, de la que se han encontrado muestras del siglo X en Bulgaria, puede suponerse que es también, en parte, de inspiración bizantina, pasando luego a Italia y desde allí a Francia. Pero la influencia más importante sobre la alfarería occidental fue la de las cerámicas chinas importadas a través del mundo islámico.

La porcelana blanca y traslúcida, de resonancias metálicas, se había venido fabricando en China con caolín y caliza de grano muy fino, cocidos a altas temperaturas, a partir del 700 d.C. En el espacio de un siglo la porcelana china llegó a Bagdad. Para imitar esta ansiada porcelana de tonos crema, cuyo secreto no pudieron descubrir, los alfareros mesopotámicos inventaron un barniz de estaño, blanco y opaco —compuesto de polvo de cristales de potasa, óxidos de plomo y estaño, y sal—, en el cual podían sumergir la vasija una vez cocida. El resultado no era tan sólo una imitación aceptable de la porcelana china, sino la consecución de una superficie sobre la que un pincel podía pintar los motivos más delicados. Las cerámicas de Bagdad, y después las de El Cairo, adonde emigraron los alfareros de Bagdad en el siglo XI, inspiraron las imitaciones españolas e italianas, iniciadas en el siglo XIV con los objetos de mayólica, que probablemente deben su nombre a la isla de Mallorca, aunque fueron un logro característico del Renacimiento en Faenza (de donde proviene el

nombre fayenza) y otros lugares italianos. Estas cerámicas se hacían con el esmalte antes descrito, y se pintaban con colores procedentes de la práctica islámica, tales como el azul cobalto, que pasó a Italia desde Levante en el siglo XV.

Mientras tanto, en el siglo XII la blancura de la porcelana china era imitada en Persia por medio de una nueva composición de cuarzo y vidrio pulverizado; lo que dio a Persia una posición preponderante en el campo de la cerámica, aunque no influyó directamente en Europa. En el siglo XV, sin embargo, la porcelana china azul y blanca dio un nuevo impulso a la alfarería en el Oriente Próximo, y de ahí indirectamente en Europa, con el resultado de que la mayólica se difundió en el siglo XVI de Italia a los Países Bajos; y cuando en 1609 la Compañía Holandesa de las Indias Orientales comenzó a importar porcelana china directamente, los artesanos de Delft la imitaron en sus productos esmaltados con estaño, con los cuales estará siempre asociado el nombre de su ciudad. Desde 1615 en adelante los holandeses la exportaron a todo el mundo civilizado occidental.

También fue una característica de la Baja Edad Media en Europa el resurgimiento de la fabricación de ladrillos. Tras la caída de Roma se había mantenido en Bizancio y el norte de Italia, y entre los mahometanos de España. Entre los siglos XI al XIII se difundió desde el sur de Francia al este de Britania, y llegó a ser la base principal de la arquitectura medieval en la región comprendida entre los Países Bajos y el Báltico, que tenía muy poca piedra. Los ladrillos, fabricados en grandes hornos rectangulares, eran baratos: en Hull, hacia 1400, tres o cuatro hombres carentes de conocimientos especializados eran capaces por sí solos de extraer y amasar la arcilla, moldear los ladrillos y cuidar el horno, con una producción anual de cerca de 100.000 ladrillos, producto de diez cocciones de cinco días de duración, usando turba seca como combustible. Además de las tejas comunes de arcilla para los tejados, fueron tam-

bién características de la Baja Edad Media las baldosas con incrustaciones y los azulejos en relieve para adornar las paredes. Desde el siglo XV en adelante hallaron una nueva utilización para cubrir los grandes fogones del frío norte, en donde se añadían incidentalmente adornos en relieve a la superficie susceptible de irradiar calor; los holandeses consiguieron efectos especialmente bellos en los azulejos pintados con esmalte de estaño. Una vez más la inspiración provenía de Oriente, concretamente de los azulejos que decoraban las mezquitas y los mausoleos del Islam.

La vidriería medieval puede tratarse con mayor brevedad, porque después de la caída del Imperio romano en Occidente existen serias lagunas en nuestros conocimientos. La industria medieval en el norte de Europa, centrada en Renania y Normandía, usaba potasa en vez de sosa como álcali, y por consiguiente su fuente de recursos fueron los bosques, que también suministraban el combustible necesario. El cambio tuvo lugar en el siglo IX, pero no está claro que fuese causado por una desorganización de la industria en la Edad Media. Los jutos, pueblo pagano que se asentó en Kent, fabricaron un tipo de vidrio, y en la época de Beda el Venerable se intentó llevar a Northumbria el arte perdido del continente, pero hasta 1226 no tenemos noticias de que trabajadores provenientes de Normandía estableciesen fábricas de vidrio en las áreas boscosas de Surrey y Weald. Un misterio similar envuelve el desarrollo del vidrio de sosa en Italia. Se han descubierto asentamientos de fábricas de vidrio pertenecientes al siglo XI en Corinto, pero tenemos un escaso conocimiento del vidrio italiano e incluso del bizantino hasta el siglo XIII, cuando Venecia se convirtió en un importante centro de fabricación de vidrio, desde donde este producto se difundía por Italia y otras partes. Parece ser que el mayor impulso fue dado por las Cruzadas, que habían alentado el movimiento hacia el oeste de los trabajadores del Oriente Próxi-

mo, hábiles en tallar y esmaltar el cristal. Pero sólo a mediados del siglo XVI, los venecianos, a los que el declive de su ciudad impulsaba a emigrar, llevaron consigo hasta Inglaterra la manufactura del cristal.

Aún en pleno siglo XII las ventanas de las iglesias inglesas no siempre estaban encristaladas, e incluso en los últimos tiempos de la Baja Edad Media sólo las ventanas de las casas principales tenían tal protección. Para las primeras, el vidrio se obtenía hendiendo con un hierro al rojo un grueso cilindro de vidrio soplado, y extendiéndolo en el horno; para las segundas, el *crown glass* se elaboraba por el simple sistema de tornear rápidamente un globo hueco de vidrio fundido, hasta que la fuerza centrífuga le hacía abrirse de improviso en forma de lámina plana y circular, y la *crown* [corona], por la que se hallaba unida al puntel, quedaba como marca distintiva. La fabricación de vidrio coloreado, cuyos ejemplares ingleses más antiguos datan de 1170-1180, requería, como ya hemos señalado, que se añadiesen al material en fusión substancias minerales específicas, y que se llevase a cabo un control muy cuidadoso de las condiciones existentes en el horno. Los verdes y los rojos se obtenían gracias al cobre, si bien el rojo de mejor calidad requería cloruro de oro, como aún se hace hoy. Los marrones y los amarillos se conseguían añadiendo hierro, el mejor amarillo con plata pura y el azul con zafre, término árabe que designa a una mezcla de cobalto. Por el contrario, se descubrió el modo de fabricar vidrio incoloro, bien utilizando materiales más puros o bien suprimiendo el tinte verde o el marrón del hierro, mediante la adición de «jabón de vidrieros» (bióxido de manganeso).

El uso de vidrios de color en las ventanas de las iglesias se inició en los países mediterráneos en el siglo XII, siendo una de sus finalidades principales evitar los cálidos rayos del sol. En unos cien años esta modalidad se transformó en una de las más importantes formas artísticas, gloria suprema de las catedrales góticas de Francia e Inglaterra. Si bien los

trabajos mejores se llevaron a cabo entre 1280 y 1380, la técnica del colorido continuó perfeccionándose hasta 1550 aproximadamente, cuando el mundo perdió un hallazgo que, como creen muchos, nunca se ha logrado recuperar del todo.

LOS TEXTILES MEDIEVALES Y EL TRABAJO DEL CUERO

Durante la Edad Media el lino se cultivó en toda Europa; en realidad, siguió siendo la principal fibra vegetal utilizada en Occidente hasta el siglo XVIII. Se elaboraba tan eficazmente que el tejido de lino fue prácticamente la única mercancía occidental medieval que encontró mercados incluso en regiones tan lejanas como Pekín. Pero el único avance técnico importante en su fabricación fue la agramadora, invento del siglo XIV, quizás de origen holandés, que trituraba los tejidos leñosos del tallo entre ciertas piezas de madera.

Mucho más importante fue el incremento en la utilización de la lana. En el siglo XV había 51 clases de lana inglesa, siendo las mejores las de Shropshire, Herefordshire y Cotswold. Se vendía sobre todo en los grandes centros manufactureros de Flandes, donde durante los años prósperos de principios del siglo XIV se necesitaron hasta siete millones de kilos, como base principal para una producción anual estimada en 150.000 piezas de lana de 25 metros cada una. La lana inglesa de buena calidad era también un producto importante de exportación hacia el norte de Italia; pero hasta fines de la Edad Media los tejidos ingleses gozaron de poca estima, en parte porque se creía, con alguna razón, que los ingleses no escogían con suficiente cuidado la lana con la que hacían sus manufacturas.

La lana requería ser lavada, secada, batida y aceitada antes de que sus fibras fueran desenredadas para ser hiladas. El desenredado o cardado se había

realizado originalmente por medio de un cardo (en latín, *carduus)* o de cabezas de cardencha, pero hacia el siglo XIII los franceses utilizaban un par de tablillas provistas de alambres (semejantes a cepillos de cabeza muy rígidos), y la lana se pasaba de una a otra con la mano; este instrumento es usado aún por los tejedores manuales. Otra práctica tradicional era el peinado, que se alternaba con la cardadura; probablemente provino de la industria del lino, y sin duda era corriente en Europa occidental hacia el siglo XII. Los peines tenían púas metálicas montadas en cuerno sobre un mango de madera, y se calentaban antes de usarlos, para que pudieran deslizarse más fácilmente a través de la lana: se fijaba el peine a un poste, y entonces la lana se pasaba por él a grandes tirones, cuyo objeto era apartar las fibras largas de las cortas, a fin de hilarlas por separado. Había también un tercer procedimiento, que se alternaba con el cardado, en el que las fibras se desenredaban gracias a las vibraciones de una cuerda de arco. Tanto el cardado como el peinado son mencionados, pero no descritos, por los escritores clásicos, incluido Plinio; pero el sistema de arquear la lana, que se practica aún en la India y en algunas partes de Europa, puede considerarse como una invención medieval.

Los tres inventos de mayor importancia asociados con la industria medieval de la lana son el torno de hilar (fig. 33), el telar horizontal y el batán. Al usar el torno de hilar, la mano derecha hacía girar la rueda, que estaba conectada con el huso por medio de una correa y una polea; mientras el huso giraba, el hilo que salía por el extremo se recogía con la mano izquierda. Cuando el brazo estaba completamente extendido, había que mantener el hilo en ángulo recto y hacer que el huso diese unas vueltas en sentido contrario, con lo que podía devanarse cómodamente. Antes de fines de la Edad Media la máquina fue nuevamente perfeccionada gracias a la aleta, que permitía hilar y devanar al mismo tiempo.

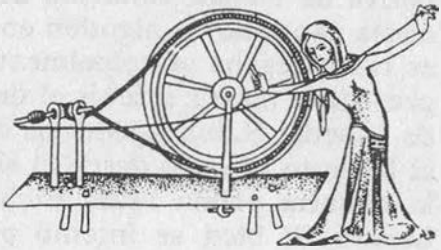


Fig. 33. Torno de hilar. Del Salterio de Lutrell. Hacia 1338.

Según Adam Smith, el torno de hilar, con su continuo movimiento de rotación, duplicaba la productividad del trabajo. Por otra parte, el telar horizontal fue más una cuestión de comodidad para el tejedor que un avance de importancia. El tejedor disponía de cárcolas para subir y bajar los lizos del telar (p. 119), mientras pasaba la lanzadera de un lado a otro (fig. 34); el peine, con el que se apretaban las pasadas de la trama, estaba colgado del bastidor sobre un pesado batán; accionando una palanca el operario podía ir soltando, en la medida que lo necesitaba, la urdimbre del plegador, situado en la parte posterior del telar, y la tela tejida se enrollaba

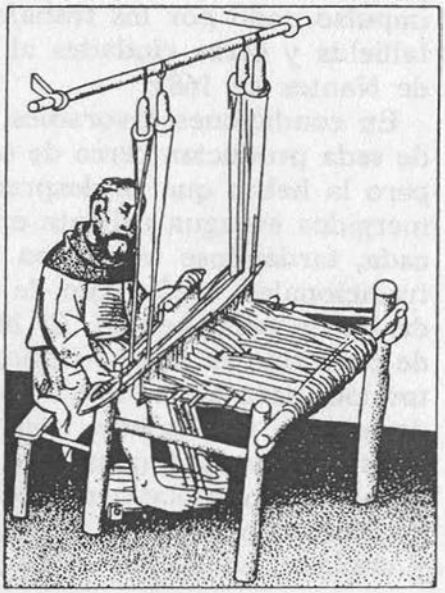


Fig. 34. Telar de cuatro lizos, como el que se usaba hacia 1400

en el plegador de telas, que se hallaba en la parte delantera.

El enfurtido o batanado de la tela para hacerla más compacta batiendo la fibra es análogo al afieltrado de la lana, la piel o el pelo no hilados, siendo, probablemente, un proceso más antiguo que el propio tejido. En este proceso los antiguos usaron tierra de batán y otros limpiadores, tales como cenizas de madera (pero no jabón); la novedad en la época medieval fue la sustitución del trabajo del hombre con los pies en agua, con frecuencia desagradable, por mazos accionados mecánicamente. La fuerza motriz era suministrada por una rueda hidráulica, como en los molinos harineros; el giro del eje de la rueda hacía que las levas se engranasen en los ejes de dos grandes mazos de madera, cuyas cabezas caían alternativamente sobre la tela, que estaba sumergida en una batea de agua que contenía tierra de batán y otros materiales alcalinos. El tejido debía ser cambiado cada poco para asegurarle un tratamiento uniforme, pero el ahorro de trabajo, si se compara con el antiguo método de pisar y golpear, puede apreciarse si se considera que un molino del siglo XV en Kent podía tratar simultáneamente tres piezas de tela de 11 × 2 metros cada una. Es un hecho digno de mencionarse lo poco que se conoce sobre los orígenes del batán, dado que influyó notablemente en la organización de la industria lanera, dando lugar a que se trasladase fuera de las antiguas ciudades, hacia las regiones montañosas bien provistas de rápidos arroyos, y proporcionando a la industria inglesa la ventaja correspondiente sobre la flamenca. En un documento francés del siglo XI se hace referencia a él, pero la primera mención inglesa —sobre dos batanes en Yorkshire y Cotswolds, respectivamente— data de 1185. En el siglo XIII los batanes eran ya tan corrientes que a la palabra «molino», en los documentos, se le daba esta última significación; sin embargo, no se encuentra ninguna descripción o ilustración completa hasta bastante después.

El secado de los tejidos abatanados en tendederos (fig. 35), su perchado con cardenchas, su subsiguiente tundido y prensado para lograr una superficie suave y la tintura fueron todos procesos de gran importancia en la economía medieval, pero los procedimientos no solían ser nuevos. Sin embargo, hubo un avance interesante en la preparación del alumbre (p. 384), que se había usado desde tiempos muy remotos como mordiente para que el tinte impregnara adecuadamente el tejido.

Fig. 35. Acabado de tejidos en un monasterio. *Derecha:* corrección de defectos; *izquierda:* estiraje en un tendedero. De un manuscrito italiano de 1421.

La historia del algodón y la seda en la Edad Media pone de relieve una vez más la importantísima relación con Oriente. La manufactura del algodón se desarrolló en gran escala en España con los musulmanes, desde donde se difundió por toda Europa, en los siglos XII al XV, hasta sitios tan alejados como Inglaterra, principalmente en forma de fustán, tela barata de algodón con trama de lino, cuyo nombre

deriva de Fustat, suburbio de El Cairo. Se cultivaba cierta cantidad de algodón en Italia, pero el material en rama llegaba principalmente de Siria, Egipto y Chipre. Tiene mayor interés el desarrollo de la industria de la seda. Había tejedurías de seda en Europa bajo el Imperio romano desde el siglo II en adelante, pero la materia prima venía exclusivamente del Oriente Lejano. Si bien se intentó producir seda cruda en Bizancio bajo el reinado de Justiniano en el siglo VI, sacándose de contrabando desde China huevos de gusanos de seda —según cuenta la tradición, escondidos en los báculos de dos monjes nestorianos—, hasta el siglo XII la industria no llegó a establecerse firmemente en el sur de Italia, imitando a los musulmanes de España. Luca se convirtió en el principal centro de las manufacturas que florecían en muchas de las ciudades del norte de Italia, y que habían comenzado a difundirse en Francia: los huevos de los gusanos de seda se encontraban entre los trofeos de guerra de las campañas italianas de Francisco I. Inglaterra, que nunca había logrado producir materia prima en cantidad apreciable, no tuvo ninguna manufactura de seda importante hasta el gran impulso dado por los trabajadores hugonotes a Spitalfields y otras ciudades al ser revocado el Edicto de Nantes en 1685.

En condiciones favorables, medio kilo de gusanos de seda producían cerca de seis kilos de seda al año, pero la hebra que se desprendía de los capullos sumergidos en agua caliente era extremadamente delicada, tardándose un día en aspar, por los métodos tradicionales, medio kilo de seda, devanando juntas de tres a ocho hebras. El hilo, que en este estadio de puro fino es casi invisible, se somete a una fuerte torsión, para evitar que se separen las hebras, y se devana en una bobina, devanándose tres o cuatro hilos juntos para conseguir una firmeza uniforme. Pero hay un proceso ulterior entre el bobinado de las fibras de seda y el tejido: el proceso de torsión y doblado, en el que se da a la hebra continua de

seda el grado de finura deseado. En el siglo XIII la demanda de este procedimiento dio lugar en Italia a las primeras factorías, los molinos para torcer seda, accionados por ruedas hidráulicas. Su secreto se guardó celosamente, pero un boceto del siglo XV muestra que el sistema era ya como el que patentó (Sir) Thomas Lombe en Gran Bretaña en una fecha tan tardía como 1718. Un marco fijo de madera sujetaba varias hileras de husos, con aspas en su parte superior, a los que se hacía girar por fricción contra los listones de un bastidor interior de madera, que volteaba gracias a una rueda. El molino para torcer seda no conoció ninguna mejora sustancial hasta el siglo XIX. Su aparición es un hito importante en la historia industrial, ya que se requerían tan sólo dos o tres operarios para manejar muchos cientos de husos y aspas, que realizaban el trabajo que con anterioridad había sido hecho por varios cientos de torcedores de seda. Es interesante resaltar que China, la cuna original de la industria de la seda, había conocido ya una máquina bobinadora en el siglo I a.C., a la que se añadió una aleta hacia el 1090 d.C., pero la primera utilización de la fuerza hidráulica en la industria parece coincidir casi exactamente con su empleo en Occidente.

Las mejoras que se introdujeron en la Edad Media en los productos textiles no tuvieron réplica en el caso del cuero, cuya manufactura no sufrió cambios (fig. 36), aunque su utilización continuó siendo muy amplia. Podemos tomar dos ejemplos: uno, limitado a sus propósitos más estrictamente utilitarios, los cuales incluyen vestidos, recipientes y jarros, y la mayor parte de las bolsas y de otros objetos de viaje; y otro, referido a la aplicación del cuero a los oficios artísticos. Los zapateros fueron llamados cordobaneros, pues el principal uso al que se destinaba el *cordobán*, cuero español de alta calidad, era la zapatería. En un principio, éste fue fabricado por los musulmanes con piel de musmón, oveja muy lanosa, ahora restringida a las islas mediterráneas, pero

Fig. 36. Apelambrado del cuero en una tenería. De una xilografía del siglo XVI.

luego fue imitado en toda Europa, usando piel de cabra. Pese a su prestigio social, el calzado fabricado por el cordobanero no era muy diferente de las modernas chinelas. La vira no entró en uso hasta el siglo XV; hasta el 1600 los zapatos no tuvieron tacones, y aún más tarde llegó el uso habitual de las botas altas. El calzado más barato se confeccionaba con cuero de buey.

Nuestro segundo ejemplo se refiere a la encuadernación, oficio en el que aún desempeñan un papel importante las técnicas y estilos desarrollados durante la Edad Media. A los monasterios debemos soberbios ejemplos de marroquinería, tales como el *Evangelio de Stonyhurst*, del siglo VII, depositado en el féretro de San Cutberto, y otras gloriosas reliquias de la Edad Media. Esta encuadernación de cuero repujado, que protegía y adornaba a un tiempo, originariamente se realizaba con pequeñas herramientas y sin tener en cuenta el tiempo que se empleaba en hacerlo. Sin embargo, hacia el siglo XV, la encuadernación comenzó a realizarse de forma comercial, y se utilizaron plantillas de metal, con el fin de poder

reproducir los dibujos fácilmente. Pero sólo en 1600 la encuadernación alcanzó su momento de máximo esplendor, cuando Europa aprendió el arte del sobredorado, sin duda de los musulmanes. Primero se marcaba el cuero, y luego el pan de oro se apretaba con un hierro al rojo, y el sobrante se cepillaba y recogía cuidadosamente. En buena medida, el oro se aplicaba del mismo modo a los cantos, pero luego debía pulirse con una pequeña herramienta, que todavía a mediados del siglo XX se hace a menudo de humilde sílex. La utilización de un metal tan costoso fue posible tan sólo gracias a su extraordinaria maleabilidad, que permite al batihoja, mediante sucesivos martillazos, transformar una onza de oro, que se coloca entre hojas de pergamino, en un pan de oro de 23 m². El arte de batir el oro era conocido ya por los antiguos egipcios.

Si bien en el antiguo Egipto se había usado el cuero tensado para asientos de sillas, en Europa el mobiliario y las tapicerías de cuero no surgen en la Edad Media, sino en los siglos XVI y XVII. Sin embargo, puede hablarse de ello aquí por ser oportuno. Durante algún tiempo el cuero español repujado estuvo de moda para colgaduras y coberturas de papeles. Con todo, no era inmune a ciertos insectos nocivos, y cayó en desuso en Francia cuando Colbert, a finales del siglo XVII, reanimó la tapicería. También fue sustituido en Inglaterra, por un papel que imitaba cuero, pero las mamparas de cuero continuaron siendo las preferidas, si bien de vez en cuando se pintaban, en vez de dorarse o repujarse. El uso del cuero para asientos y respaldos de sillas se introdujo en el siglo XVI, si bien su característico uso moderno para tapicerías no se remonta a más allá de 1650.

EBANISTERIA

Respecto a la ebanistería en general, una consecuencia de la caída del Imperio romano fue la nueva importancia del carpintero. En la Alta Edad Media éste fabricaba las casas de la misma forma que fabricaba casi todo lo demás, y dentro de las casas suministraba los elementos esenciales de los pesados y toscos muebles. Tan sólo en Italia subsistió el arte de la ebanistería: hay un escritorio en el Vaticano, provisto de pequeñas gavetas, que se nombra en un inventario del siglo VIII. Por el contrario, el ebanista no apareció en Inglaterra hasta el siglo XIII, cuando reaparecieron los cepillos, y el uso de entrepaños, del que hay un ejemplar del siglo VIII en Ravena, llegó hasta Alemania y los Países Bajos. Los entrepaños podían usarse para hacer más ligeros los muebles y para ahorrar madera, pero en el norte húmedo y frío tuvo un uso especial para revestir las paredes con los frisos de roble importados por los mercaderes de la Hansa. Levantar el friso hasta el techo, y así completar el revestimiento de la habitación, fue el significado original de techar con «cielo raso».

La talla, la pintura y el dorado fueron oficios auxiliares, el primero de los cuales fue practicado con frecuencia por el ebanista. El uso de la ensambladura hizo más fácil el trabajo de talla, que era en muchos casos repetitivo, como cuando se empleaba la gubia para trazar estrías. Sin embargo, el tornero fue un fabricante independiente de sillas, banquetas y camas, cuyos vulgares productos cambiaron poco durante los mil años que separan la remota época de los sajones del siglo XVII. Hacia finales de esta época los tornos de rueda se estaban vulgarizando, pero aún continuaba usándose el torno de pértiga (fig. 37), que algunos entendidos remontaban a la Edad de Bronce mesopotámica. Por lo general, el tornero decoraba las patas o barrotes de los muebles de mejor calidad fabricados por el ebanista, pero

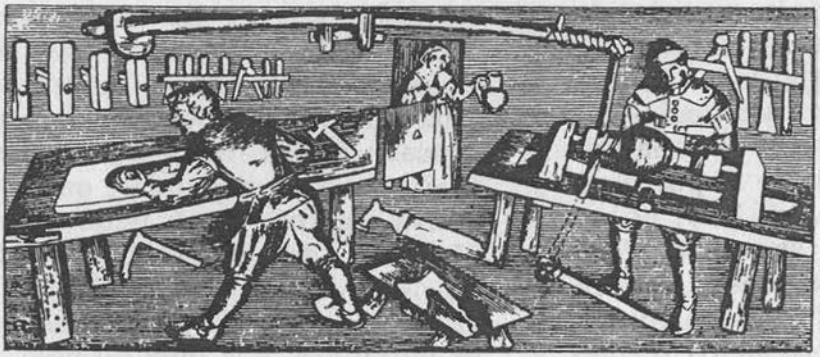


Fig. 37. Ebanista y tornero trabajando. Países Bajos. Hacia 1600.

también hacía muebles ensamblados por espigas, que eran mucho más baratos.

Las sillas de anea, brotes tiernos de sauce o mimbre eran fabricados por el cestero, oficio desempeñado por muchos de los hugonotes refugiados en Inglaterra en 1685. Aparte de sus baúles de cuero, el cofrero también confeccionaba un tipo muy especial de silla de tijera, con asiento de cuero tensado y decoración muy rica. En el otro extremo, existían los muebles de madera de rollo para los pobres, que los carpinteros unían apresuradamente. Se hacían de tablas finas, con pesadas patas que atravesaban el asiento y se fijaban en su sitio con cuñas de madera, igual que el respaldo. Los materiales más comunes eran el haya, el fresno, el olmo y el roble, y la mayor parte del trabajo se hacía con la cuchilla de desbastar de doble mango. Los muebles de madera en rollo se encuentran en toda Europa a lo largo de la Edad Media, en un estilo funcional inmutable, únicamente afectado por los materiales y los gustos locales. Mientras tanto, se difundían lentamente hacia el norte las artes de los excelentes artesanos italianos, como la marquetería y el chapeado, así como el uso de la mortaja, la espiga y la ensambladura en cola de milano, que se había desarrollado en Egipto ya

en el tercer milenio a.C. Incluso durante la Edad Media París fue el centro de una importante industria de lujo: durante el Renacimiento, los operarios franceses comenzaron a rivalizar seriamente con los grandes logros del estilo italiano, al que finalmente sobrepasaron bajo la égida de Luis XIV. La moda de las grandes alacenas para guardar trajes suntuosos y de las camas grandiosas exigía fundamentalmente la destreza tradicional, pero los nuevos procesos de enriquecimiento, incluyendo el dorado —un pan de oro superpuesto a muchas capas sucesivas de sisa y mezclas adhesivas— y la taracea se llevaban a cabo con maderas veteadas u otros materiales, tales como marfil y cuerno pintado, carey, peltre y latón. El sistema de marquetería de A. C. Boulle consistía en encolar carey, latón y otros materiales en un fondo de madera de pino, pero esto tendía a despegarse; los *appliqués* de bronce dorado, añadidos como ornamentación, servían con frecuencia para mantener unidas las piezas. Las sillas tapizadas, más o menos cómodas, desempeñaron un importante papel en la etiqueta de la corte de Luis XIV, mientras que el resto de su mobiliario difundió la moda entre las cortes menores y las residencias más modestas que Versalles. La manufactura de los Gobelinos, dirigida por Le Brun, contó incluso con un departamento especial para *ouvrages de la Chine*, moda que se repetiría a intervalos durante siglos: la laca usada en esta época fue inventada por Dagly de Lieja, pero S. E. Martin, en 1744, consiguió una imitación más perfecta de este material chino y japonés.

TEXTILES Y VIDRIO, 1500-1750

Se notará que en este recuento de las artes domésticas nos hemos desviado ya más de una vez desde la Edad Media hasta los primeros siglos de la historia moderna: no existe, de hecho, una línea divisoria clara. La ebanistería y la marroquinería si-

guieron principalmente las directrices tradicionales a lo largo de los primeros tiempos de la Edad Moderna y bastante avanzada la historia de los últimos tiempos que solemos considerar transformados por la revolución industrial. Incluso en el caso de la alfarería, el descubrimiento del secreto de la porcelana china en Meissen, cerca de Dresde, en 1709, no obtendría plenos resultados hasta la época de Wedgwood, que está bastante más allá de nuestra arbitraria línea divisoria situada en 1750. Sin embargo, hay dos de las artes domésticas —los productos textiles y el cristal— que deben considerarse ahora con mayor amplitud, ya que ambos experimentaron avances de la mayor importancia entre 1500 y mediados del siglo XVIII.

En el caso de los textiles, el progreso no se debió al uso de nuevos materiales. La fuerza que lo impulsó fue la existencia de un mercado en expansión para los antiguos materiales: un mayor mercado interno, debido al creciente nivel de vida a partir del Renacimiento, y un inmenso mercado ultramarino en expansión que siguió a los grandes descubrimientos geográficos. El lino siguió siendo más importante que el algodón: la mayor parte del calicó usado en Europa se importaba de la India, mientras que la manufactura del algodón más extendida en Europa era el fustán. Si bien tenemos alguna noticia sobre su fabricación en Inglaterra durante la Baja Edad Media, probablemente la industria del fustán fue reintroducida por los inmigrantes flamencos a fines del siglo XVI; se sabe que existía en Lancashire en 1621.

En la industria del lino había dos procesos preliminares, como ya hemos dicho: el enriado del tallo leñoso del lino y el agramado para separar la fibra y la madera. Los intentos para separarlos mecánicamente comenzaron en 1664: hacia principios del siglo XVIII se usaban rodillos movidos por fuerza hidráulica para agramar el lino, reproduciéndose la acción del cuchillo o la hoja de la agramadera, usa-

dos para separar las fibras, mediante una serie de dientes sobre una rueda que también se movía hidráulicamente. Por el contrario, el peinado de la lana siguió siendo una operación manual, aunque el cardado de las fibras más cortas estaba mecanizado gracias a tres máquinas, que, cosa bastante significativa, fueron todas patentadas el mismo año de 1748. Dos de ellas eran manuales, construidas por Lewis Paul. Por el contrario, la invención de Daniel Bourn posibilitó el uso de rodillos movidos por fuerza hidráulica, y si bien no tuvo éxito, proporcionó la pauta a seguir por las máquinas posteriores, que sí lo tuvieron.

El hilado, en contraste con el tejido, siguió siendo el más lento de los procesos textiles básicos. El único cambio importante tras la introducción de la aleta a finales de la Edad Media (p. 143) fue la rueda de cárcola, que al parecer surgió en Inglaterra, o posiblemente en Brunswick, en las primeras décadas del siglo XVI. La cárcola era accionada desde la parte inferior frontal del torno de hilar. Cuando se presionaba hacia abajo una abrazadera de cuerda hacía funcionar en el otro extremo una biela y una manivela que daba vueltas a la rueda. Podían utilizarse dos cuerdas para manejar la aleta al mismo tiempo que la canilla a la que se enrollaba el hilo; alternativamente el mismo hilo pasaba alrededor de la aleta. Pero aún se necesitaban entre tres y cinco hilanderos para dar trabajo a un tejedor, disparidad que aumentó (como veremos) con la invención de la lanzadera volante en 1733, de modo que sólo cinco años más tarde Lewis Paul, juntamente con John Wyatt, patentaron un prototipo de hiladora. El hilo debía pasar a través de varios pares de rodillos, cada uno de los cuales rodaba más rápidamente que su predecesor, y por último uno de ellos podía también imprimir una torsión al hilo. Se hicieron algunos intentos para mover esta máquina por tracción animal y por rueda hidráulica: fueron infructuosos, pero presagiaron lo que vendría más tarde.

En cuanto al tejido, el lujo creciente de la época hizo que se consagrase una atención creciente al telar de estiraje, con el que era posible producir toda clase de tejidos labrados. En Oriente se usaba para tejer la seda, y llegó a Europa a fines de la Edad Media, empleándose en las sederías de Italia, y posteriormente de Francia. Podían crearse modelos diferentes variando el número y la posición de los hilos de la urdimbre, que subían cada vez que el tejedor pasaba la trama de la lanzadera de un lado a otro. En el telar de estiraje esto se hacía por medio de una arcada colgada sobre el telar, de la que descendían unas cuerdas, que permitía a un muchacho estirar de los hilos de la urdimbre apropiados, que bajaban por medio de pesos, para cada pasada sucesiva de la trama. Si bien no existen ilustraciones medievales de los telares de estiraje, los principales tejidos labrados fueron ideados entonces, imitando por lo general las prácticas islámicas, si bien también hubo una cierta influencia bizantina y una imitación directa, poco importante, de los tejidos chinos. De este modo los rasos, los damascos y los terciopelos labrados, estos últimos principalmente italianos, se convirtieron en tejidos de lujo mucho antes de los tiempos modernos.

La primera mejora importante fue realizada hacia 1600 por el tejedor lionés Claude Dangon, que introdujo dos mecanismos que facilitaban el uso de una máquina muy complicada. Primeramente, las cuerdas se colocaron a un lado de la máquina, con lo que el muchacho que estiraba de ellas podía trabajar desde allí, en vez de estar precariamente encaramado en lo alto. En segundo lugar, se introdujo una palanca, a fin de que el muchacho pudiera levantar los pesos de la urdimbre con más facilidad, y el número de abrazaderas susceptibles de usarse para mover los hilos de la trama se aumentó hasta 2.400. Se ataban juntas las abrazaderas apropiadas par formar la calada a cada pasada de la trama, previamente seleccionada por el asistente con la ayuda de un patrón

de papel. Naturalmente, había un gran interés en conseguir un telar automático que evitase tanto el gasto como la posibilidad de error que implicaba el empleo del muchacho encargado de estirar de las cuerdas. Entre 1725 y 1745 se idearon tres mecanismos en Francia, donde los tejidos labrados gozaban de una gran demanda, en cada uno de los cuales se preparaba el patrón deseado para que casase con las perforaciones hechas en un rollo de papel o cartón colocado alrededor de un cilindro perforado: las cuerdas se ataban a una fila de agujas, que pasaban a través de los agujeros dondequiera que hubiese una perforación, y de este modo se seleccionaban automáticamente los hilos de la urdimbre necesarios y se componía el patrón. Después de cada pasada de la trama se daba la vuelta al cilindro para colocar en la posición adecuada las siguientes series de perforaciones. El último de estos modelos fue construido por un famoso inventor, Jacques de Vaucanson, y si bien (como sus precedentes) se mostró demasiado complicado para su utilización práctica, es importante como base para el conocido telar Jacquard del siglo siguiente.

Mientras tanto, se produjeron dos inventos de gran importancia para el futuro. El origen de los géneros de punto es desconocido, si bien es evidente que la recia textura de los tejidos hechos en los telares primitivos pudo alentar el desarrollo de una textura más flexible, siempre que pudiese realizarse con los mismos materiales. La fabricación de géneros de punto sobre bastidor ya era practicada por los árabes antes de la era cristiana, y se cree que de ahí haya progresado gradualmente hasta llegar a la técnica moderna; las primeras agujas de punto tenían forma de gancho, como las que aún se encuentran en vigor entre los pastores de las Landas. En 1589 un clérigo de Nottinghamshire, William Lee, inventó un telar para géneros de punto, en el que el calcetero manipulaba una serie de ganchillos movibles para llevar los puntos a una serie de ganchillos fijos. Por temor

a que su invento produjese desempleo, el invento fue desanimado por Isabel I y Jacobo I, refugiándose en Francia; sin embargo, hacia el siglo XVIII el «bastidor», que nunca era accionado mecánicamente, llegó a ser la base de una nueva industria doméstica en Inglaterra, sobre todo en el este de las Midlands. Hacia fines del siglo XVI otro adelanto importante fue el telar para cintería, inventado en Danzig, que no requería mayor habilidad que la manipulación de una barra, y producía media docena de telas estrechas a la vez. Si bien parece que se usaba en Londres en 1616 y en Leiden en 1620, su difusión fue dificultada tanto por los motines populares como por la legislación restrictiva; más de cien años después un inventor de Basilea, que ideó un método para equipar con fuerza hidráulica el telar para cintería, se encontró con que su invento fue prohibido.

Finalmente, se inventó la lanzadera volante (figura 38), patentada el 26 de mayo de 1733 por John Kay, un tejedor de Lancashire que trabajaba en Colchester. Esta permitía al tejedor, que permanecía sentado, pasar la lanzadera en ambas direcciones a

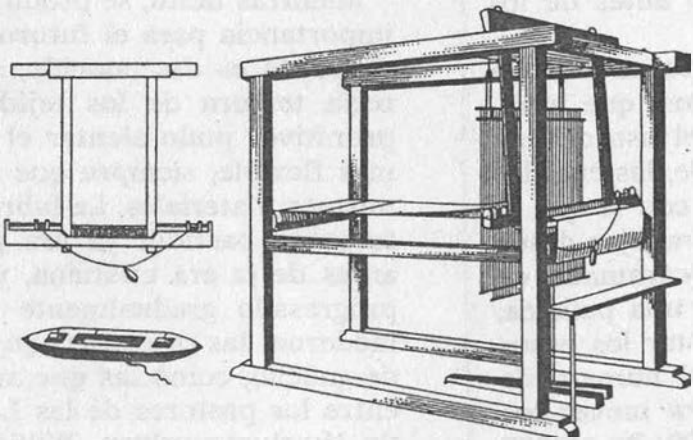


Fig. 38. La lanzadera volante de Kay, 1733. *Derecha:* telar completo; *izquierda:* batán sobre el que corre la lanzadera; *abajo:* lanzadera.

través de la pieza de tela mucho más amplia que la envergadura de sus propios brazos. La máquina se manejaba tirando alternativamente de las cabos de una cuerda de cuero atada a dos conductores o tacos que se deslizaban a lo largo de una espada de metal. Estos golpeaban la lanzadera que corría sobre ruedas a lo largo de un batán. Un solo tejedor podía hacer así el trabajo de dos, siempre que contase con las energías suficientes para atender los hilos de una tela de doble ancho, así como para lanzar la lanzadera; se veía estimulado a ello por el hecho de que, por primera vez, su postura ante el telar era saludablemente vertical. Kay obtuvo pocos beneficios de su famoso invento, que fue denunciado por tejedores llenos de prejuicios y copiado fraudulentamente por patronos sin escrúpulos: sin embargo, su efecto inmediato fue aumentar la presión sobre los hilanderos a fin de que satisficieran la demanda de hilo los tejedores, y a largo plazo estimuló el desarrollo del telar mecánico, al que se adaptó con éxito.

La rentabilidad de la industria textil produjo asimismo mejoras en el proceso de acabado. Ya existían perchadoras de cardas para perchar el paño en el siglo XV, diseñadas por Leonardo de Vinci. Hacia el siglo XVII la práctica más corriente era cubrir con cardenchas un rodillo, el cual giraba en una dirección mientras que otros rodillos sacaban el paño fuera en la dirección opuesta (fig. 39). La importancia del jabón en el abatanado, especialmente en los tejidos de lana, fue uno de los factores que influyeron en el rápido desarrollo de la industria del jabón, que hacia finales del siglo XVII comenzó a usar aceite de ballena, si bien el jabón de mejor calidad se hacía aún con aceite de oliva procedente de los países mediterráneos. Con respecto a la tintura, hubo un avance importante cuando se descubrió, hacia 1615, que la cochinilla roja podía volverse de un escarlata brillante mediante el uso de una sal hecha disolviendo peltre en ácido nítrico: el principio activo consistía en el estaño presente en el peltre, que

podía contener entonces un 90 por 100 de este metal. Sin embargo, los métodos de blanqueado no fueron sustancialmente mejorados hasta después de 1750 (p. 783).

La historia de la fabricación del vidrio se asemeja en gran medida a la de los textiles. Este período presenció la difusión de una artesanía muy selecta desde Italia hacia el norte; un crecimiento importante en el mercado de productos acabados, si bien por razones obvias la exportación desempeñó un papel poco importante; y una serie de mejoras técnicas. En el caso del vidrio estas últimas cuentan con el interés adicional de que no fueron invalidadas por el advenimiento de la revolución industrial.

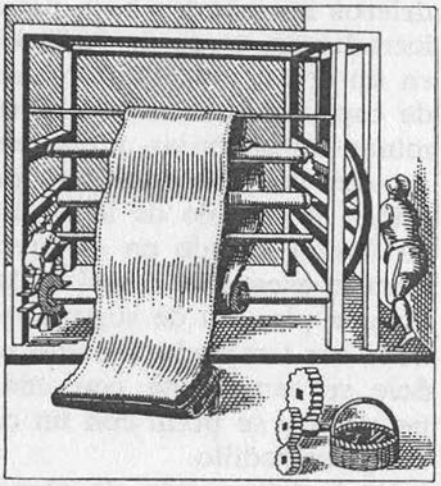


Fig. 39. Perchadora para el paño, dibujada por Zonca, 1607.

La vidriería italiana, cuyos centros principales fueron el suburbio veneciano de Murano y Altare, próximo a Génova, debió su reputación hacia finales de la Edad Media a tres factores. Primero, mientras que Europa del norte fabricaba su vidrio con arenas locales y álcalis derivados de cenizas vegetales, los italianos utilizaban sílice y sosa de fuentes más puras. Segundo, eran los herederos de la más refinada tradición técnica del Mediterráneo. Tercero, y como

consecuencia, hacían un cristal claro y bello, adecuado para los casos más finos, mientras que en el norte de Europa continuaban centrándose sobre los vidrios de ventanas. Este cristal italiano, rara vez completamente incoloro, era dorado y después esmaltado, coloreado mediante la técnica de las «cañas» (p. 129) o dotado de una superficie agrietada mediante su inmersión, cuando aún estaba caliente, en agua fría. El único adorno que no se aplicaba corrientemente era el tallado; la mayor parte del cristal era demasiado delicado para que ningún torno para tallar se pudiese utilizar antes de la segunda mitad del siglo XVII. Tal clase de cristal estaba muy de moda en el extranjero, y los vidrieros italianos se vieron con el tiempo animados a emigrar, a despecho de los castigos, por lo que en el tercer cuarto del siglo XVI su arte se había difundido a través de Europa hasta Suecia e Inglaterra.

La fabricación de vidrio, en esta época, fue representada en un fresco toscano, en el que pueden verse los hierros, las tijeras y las pinzas empleados en el proceso de soplado; en un gran compartimento sobre el horno, los objetos de vidrio se iban templando por enfriamiento. La destreza de los vidrieros italianos les hace merecedores de tal conmemoración, porque el vidrio de las ventanas y las botellas de mediados del siglo XX es casi idéntico a la mezcla que ellos habían usado para sus cristales desde la Edad Media.

Tal como hemos visto, ya incluso en la época egipcia se sabía que se podían colorear los cristales añadiendo ciertos minerales a la fusión. Durante siglos el arte de la coloración del vidrio mejoró constantemente, si bien permaneció necesariamente asentado sobre bases empíricas hasta que el desarrollo de la química moderna hizo posible un conocimiento adecuado de lo que entrañaba el proceso. Cuando una buena parte de la industria del vidrio se dedicó a la fabricación de artículos de lujo se concedió naturalmente una gran atención a la producción de colo-

res. Hacia la época medieval podían conseguirse los principales colores del espectro (p. 141) y los intermedios por medio de mezclas adecuadas, pero el rojo presentó desde siempre una dificultad especial. Si bien existen algunas pruebas de que los asirios sabían cómo hacer cristal de color carmín añadiendo oro a la fusión, el uso del oro para este fin es esencialmente un adelanto del siglo XVII. Los vidrieros de Murano hacían un cristal rojo de buena clase añadiendo óxido de cobre a la fusión, calentándola lentamente y aislándola del aire. Este cristal se llamó *avventurino* (que quiere decir «suerte»), y es un excelente ejemplo del elemento fortuito en el progreso tecnológico, elemento que es de primera importancia incluso hoy.

En Inglaterra fue necesario desarrollar un nuevo método de fabricación de vidrio como resultado de una proclama de 1615 que trataba de economizar madera mediante la prohibición de su uso en los hornos para cristal. De ahí nació el desarrollo de los hornos de carbón, provistos de una parrilla de barras de hierro, con los que se pudieron alcanzar unas temperaturas más altas que con los de madera. Ello a su vez debió de ser la causa del uso de un crisol cerrado, ya que las mezclas de sulfuros y el hollín del carbón podían decolorar el vidrio. Sin embargo, fue más importante el trabajo de George Ravenscroft, que desde 1675 rivalizó con el cristal veneciano con su *flint-glass*, hecho mediante una mezcla de potasa, óxido de plomo y sílice calcinado. Sin embargo, este pesado cristal de plomo recibió una severa cortapisa cuando el gobierno británico en 1745 comenzó a imponer contribución al cristal según su peso. Mientras tanto Alemania y Bohemia fabricaron otro vidrio de cal y potasa, pesado e incoloro, particularmente adecuado para ser tallado, que rivalizó con el veneciano. Se pudo satisfacer la amplia demanda de cristal tallado gracias al uso de una serie de moletas cortantes de cobre, que alcanzaban de 1 a 10 centímetros de diámetro, sobre las que goteaban una

mezcla de aceite y abrasivo. Comúnmente las moletas se movían con el pie, por medio de un pedal, pero algunas veces se empleaba la fuerza hidráulica.

La más importante de las nuevas demandas comerciales de fines del siglo XVII fue el suministro de grandes láminas de vidrio pulimentado, que sólo se fabricaban por colada. Colbert llevó a Francia a trabajadores italianos especialistas en fabricar vidrio soplado para espejos como los que pueden verse en Versalles, hechos a partir de pequeñas secciones y que de ningún modo están exentos de distorsionar la imagen; hacia la misma fecha se estableció otra manufactura en Lambeth. Pero el método de colar vidrio en láminas, a pesar de ser conocido por los venecianos, fue primero puesto en práctica por vidrieros normandos bajo patrocinio real. Para ello se introducían cerca de 1.000 kilos de vidrio por pisos en un crisol tan grande como un tonel de 260 litros de capacidad, calentado lo suficiente como para eliminar las burbujas, y después vaciado sobre el molde, que contaba con unas guías móviles para determinar el tamaño de la lámina. Mientras estaba aún en fusión, estado en el que permanecía durante un minuto escaso, el crisol se laminaba a fin de producir una plancha de superficie lisa y grosor uniforme. Tras ser templada durante unos diez días, la superficie se esmerilaba con una hojita de cristal más pequeña y se pulía con un cartón recubierto de fieltro y un rodillo.

En la fabricación de espejos, que habían adquirido una importancia práctica por su utilización en instrumentos de topografía y navegación, además de su empleo en decoración y para tocador, la única dificultad no fue la producción de hojas de cristal con superficies absolutamente planas para que no distorsionasen las imágenes. El verdadero azogamiento —la deposición de una película brillante de plata pura por medios químicos— no fue puesto en práctica antes de mediados del siglo XIX; en su lugar la superficie reflectante necesaria detrás del espejo se ha-

cía con estaño. Este era un procedimiento veneciano, por el que el cristal transparente y pulido era cubierto con hojas de estaño, sobre el que se vertía mercurio, formando una amalgama. Tras varios días, el exceso de mercurio se escurría y se barnizaba la parte de atrás del espejo para protegerlo.

Hacia el siglo XVIII era común en Inglaterra el horno cónico para vidrio, cuyos méritos fueron reconocidos por los enciclopedistas franceses, pues conducía todas las corrientes de aire en un solo movimiento ascendente, lo cual proporcionaba un suministro de calor uniforme y económico. Pero el horno alemán, descrito por el metalúrgico Agrícola dos siglos antes, continuaba siendo el tipo más común en todas partes (fig. 40). Contaba con una única boca para atizar el fuego; un piso encima, donde el cristal se fundía en crisoles de blanquizal, y una cámara más fresca arriba del todo, donde se templaban los objetos de cristal.

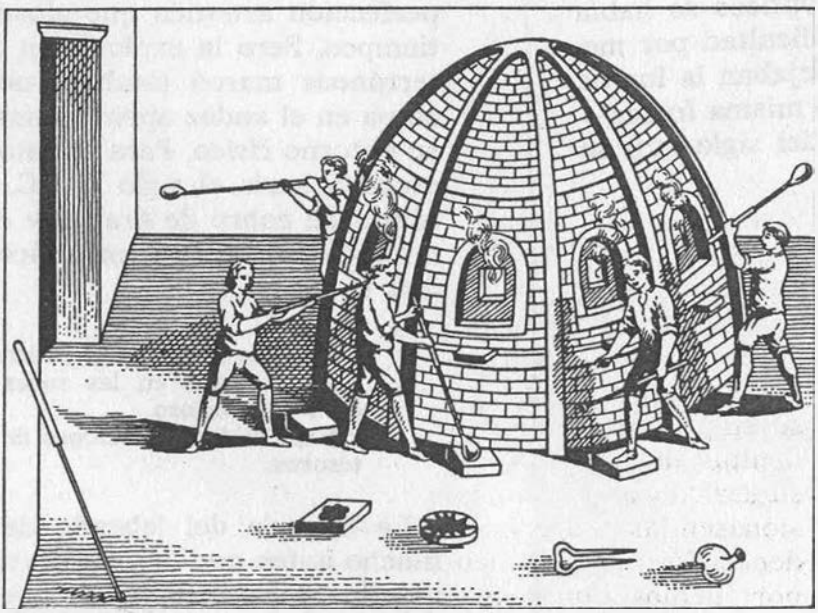


Fig. 40. Horno para vidrio alemán.

En esta época no puede decirse que todos los usos del cristal fueran para fines domésticos. Ya se ha mencionado la importancia de los espejos para los instrumentos ópticos, importancia que en las lentes fue aún más fundamental, y que trataremos para concluir este capítulo.

Si bien la naturaleza de la luz fue prácticamente desconocida hasta épocas muy recientes, el estudio de la óptica no deja por eso de ser muy antiguo. Las leyes de la reflexión se conocían, sin duda, ya en el siglo IV a.C., y en el siglo II d.C. Tolomeo reconoció que la refracción estaba regida por una ley definida, si bien su naturaleza exacta no se supo durante otros mil quinientos años. En el siglo X el filósofo islámico Ibn al-Haytam (Alhazen) estaba familiarizado con las propiedades no sólo de las lentes y los espejos planos, sino también de los espejos esféricos y parabólicos. Estos conocimientos pasaron a Occidente a través de traducciones latinas de su obra: entre los que fueron influidos por ella se cuentan Robert Grosseteste y su contemporáneo más joven, Roger Bacon. Pero aunque Bacon, sin duda, hizo experimentos con lentes convexas para corregir los defectos de la visión, no se conoce al inventor de las gafas. El invento se realizó probablemente hacia 1286, y hacia comienzos del siglo XIV su fabricación estaba bien asentada en Venecia. Las primeras lentes fueron todas convexas y sólo servían a los présbites: las lentes cóncavas, necesarias para los miopes, llegaron cerca de dos siglos después. A partir de la utilización de las lentes para corregir la visión defectuosa se desarrollaron instrumentos proyectados para aumentar el alcance de la visión del ojo sano. El origen del telescopio es oscuro: si bien es cierto que Galileo, en 1609, fue el primero que lo convirtió en un instrumento científico, no hay duda de que había sido previamente inventado por los holandeses. Asimismo, el moderno microscopio compuesto tiene su origen en los trabajos de Galileo, aunque también en este caso es posible que se le hayan adelantado otros. La ópti-

ca teórica se desarrolló rápidamente, descubriéndose las causas de los dos principales defectos de las lentes. En 1637 Descartes demostró que la aberración esférica (el hecho de que las lentes no ofrecieran una imagen rectilínea) podría evitarse si fuera posible pulir las lentes con superficies paraboidales; en 1671 los famosos experimentos de Newton con el prisma revelaron la causa de la aberración cromática (las luces de diferentes colores llegan a diferentes focos).

Estos avances provocaron nuevas demandas en el campo de la tecnología del vidrio. Primeramente se hizo necesario eliminar todo rastro de nebulosidad de los vidrios usados para fines ópticos; y segundo, hubo de tenerse gran cuidado en eliminar defectos y burbujas. Galileo y su discípulo Torricelli hicieron avanzar mucho las técnicas de pulido de lentes con superficies esféricas utilizando el tallado y el pulido a mano, pero las superficies paraboloidales no se obtuvieron hasta el siglo XVIII: entre tanto, sin embargo, en el caso de los instrumentos ópticos se había hallado una vía para soslayar esta dificultad por medio del empleo de espejos —que reflejaban la luz de todos los colores, precisamente en la misma forma— en lugar de lentes. Hacia mediados del siglo XVII se usaban máquinas para pulir lentes.

4. EXTRACCION Y LABRADO DE LOS METALES

EL USO PRIMITIVO DE LOS METALES: LA EDAD DEL BRONCE

El tema que trataremos en esta parte del libro ya fue anticipado anteriormente cuando utilizamos las expresiones «Edad del Bronce» y «Edad del Hierro» para abarcar las principales subdivisiones de la historia humana, así como en nuestra exposición de los alimentos y otros productos para uso doméstico, que hemos visto progresar desde las épocas más primitivas gracias al uso de instrumentos metálicos. La historia del labrado de los metales tiene semejanza con la de los textiles y la de la alfarería por la asombrosa perfección artística que alcanzaron en sus primeros tiempos. Pero la explotación de los yacimientos subterráneos marcó también una nueva e importante etapa en el audaz aprovechamiento por el hombre de su entorno físico. Para el autor del *Libro de Job*, que escribía hacia el siglo IV a.C., pensando quizá en las minas de cobre de Arabah y del Sinaí, el trabajo del minero era aún un magnífico ejemplo de ingeniosidad técnica:

> Mete su mano en el pedernal y subvierte los montes.
> Abre cauces en las rocas y descubren sus ojos en ellas lo precioso.
> Explora las filtraciones de las aguas y saca a [illegible] tesoros.

La historia del labrado de l[illegible] mucho antes que la de su extrac[illegible] de ellos, tales como el oro, se ha[illegible] ral en estado puro. Los metales p[illegible] zá los primeros en atraer la atenci[illegible]

su brillo, y esta misma cualidad condujo a su frecuente utilización para fines decorativos. En cuanto a los metales útiles sobre todo para fines estrictamente prácticos, el hierro era literalmente un don del cielo, pues el hierro de los meteoritos era muy apreciado para fabricar utensilios: en tiempos mucho más recientes el hierro de un meteorito caído en Groenlandia fue utilizado por los esquimales durante más de un siglo. El cobre era otro de los metales que se conocieron en estado elemental, si bien los depósitos de este tipo se agotaron en seguida y se hizo necesaria la explotación de yacimientos.

La explotación de yacimientos requiere dos procesos separados: primero, la separación del metal de otros elementos con los que se halla combinado químicamente; y segundo, la elaboración del metal para obtener artículos útiles. Los yacimientos de minerales metálicos son, en términos químicos, extremadamente variados, pero en la mayor parte de ellos el metal deseado se halla mezclado con azufre u oxígeno. A fin de separar el metal es necesario alearlo con un material que sustituya al azufre, el oxígeno u otras gangas del yacimiento. En muchos casos el carbono es el más satisfactorio para tal fin, y dado que la reacción química suele tener lugar sólo con altas temperaturas, el horno desempeña un papel principal en los procesos de extracción de metales. El carbono, que en el período que estamos considerando ahora significa casi siempre carbón vegetal, proporciona tanto los medios para reducir los metales a su estado elemental como para alcanzar el calor necesario para que tenga lugar la reacción. Una consecuencia ulterior de las altas temperaturas es que puede obtenerse el metal en estado de fusión y así pueden separarse las impurezas infusibles, que se desprenden como escorias; a veces se le añade un fundente para facilitar la formación de estas escorias.

Puede especularse sobre el modo en que un proceso relativamente complicado como éste pudo ser desarrollado por primera vez por el hombre primiti-

vo, pero podemos sugerir plausiblemente que el primer mineral que se fundió fue la malaquita, un carbonato de cobre de color verde. Este mineral se encuentra bastante extendido en el Oriente Medio, y se usaba como pigmento por lo menos desde el quinto milenio a.C., en especial como cosmético para pintarse el párpado inferior. La malaquita puede ser reducida a cobre con mucha facilidad, y si se deja caer un poco de este mineral en un fuerte fuego de madera resultará de ello una cuenta de cobre. De un descubrimiento fortuito como éste pudo haberse originado la fundición deliberada de la malaquita y, de ahí, de otros minerales cupríferos.

Por lo que respecta al labrado del metal, había dos posibilidades principales. Una de ellas, que se remonta a los tiempos más remotos, cuando el hombre hacía experimentos con los hallazgos de metal puro que no necesitaba ser fundido, fue sencillamente dar forma al metal con un martillo y un yunque; en una etapa muy temprana se descubrió que el martilleo endurecía el metal, pero que si se deseaba se podía ablandar de nuevo calentándolo. El otro método de dar forma al metal que se iba a usar fue verterlo en un molde, mientras se hallaba aún en estado de fusión, dándosele así una forma aproximada que luego podía ser retocada con el martillo. Parece ser que la práctica antigua consistió en refundir el metal para la colada más que verterlo directamente del horno.

La descripción anterior se aplica a los metales principales y a sus aleaciones, excepto en el caso del hierro, que consideraremos más adelante (p. 176). Respecto a los demás, quizá sea oportuno comenzar con la preparación del oro y de la plata, ya que aunque el uso del oro en el Oriente Próximo no tiene por qué haber precedido al del cobre, con bastante frecuencia se le hallaba en forma suficientemente pura para ser labrado de inmediato. El oro, en pequeñas cantidades, podía hallarse en muchas regiones del mundo antiguo, como por ejemplo en el Cáucaso, donde la práctica de cribar los depósitos aluviales a través

de lana se cree que dio origen a la leyenda del Vellocino de Oro. De todos modos, Egipto tenía una especie de monopolio sobre su producción, con más de cien minas de oro en el desierto de Nubia y otras en el desierto oriental. La plata no fue un producto típico de Egipto, sino del Asia Menor nororiental, región relacionada con los hititas, el nombre de cuya capital se describía con el ideograma también empleado para «plata». La plata y el plomo se hallaban juntos en la galena (sulfuro de plomo), que podía transformarse en una aleación de plomo y plata calcinándola para que se desprendiera un poco de azufre y luego calentándola a altas temperaturas, que reducían aún más la cantidad de azufre, y hacían que se formase la aleación en el fondo del horno: usando carbón vegetal como combustible se evitaba la reoxidación. Asimismo, a veces, la plata pura reforzaba las vetas de galena. La aleación de plata y plomo se fundía en un crisol de arcilla porosa (la copela), sobre el que se lanzaba un chorro de aire. De este modo el plomo se oxidaba y podía ser apartado, y la rápida aparición de una vuelta brillante de plata indicaba que el proceso había finalizado. La copelación, introducida probablemente hacia el 3000-2500 a.C., se utilizó también para refinar oro. El oro impuro se mezclaba con plomo y se fundía en la copela; el plomo y las impurezas se desechaban por medio del chorro de aire.

La plata y el oro se convirtieron en patrones de valor, pero incluso con posterioridad se usaron pesos y barras de cobre y plomo para el mismo fin, y continuaron en circulación con mayor frecuencia que los metales preciosos en los pagos en metálico. El cobre fue el primero de los metales útiles. Como el cobre nativo no es fácil de encontrar en grandes cantidades, si bien no nos son totalmente desconocidas las masas de varios cientos de toneladas, su uso generalizado presupone una extendida minería, tal como se hacía en Asia Menor, Armenia y Elam, de donde los sumerios recibían ya este metal en el 3500 a.C.;

en la isla de Chipre, de donde lo importaban los pueblos de Italia, dándole el nombre de *cuprum;* en los centros egipcios descritos en el *Libro de Job,* y en muchas partes de Europa. En las primeras épocas los mineros usaban herramientas de piedra; posteriormente las usaron de bronce. La veta de mineral se seguía por lo general horizontalmente a la roca, en ocasiones hasta 25 metros; pero algunos restos hallados en Hungría nos revelan la existencia de pozos de hasta dos metros de diámetro, en ocasiones duplicados a fin de conseguir ventilación, con accesos que consistían en troncos de árboles entallados e incluso en un caso con un malacate de tres radios. Los mineros trabajaban por el sistema de pilares y cámaras, que consistía en dejar pilares intactos de mineral para que sostuvieran el techo de los pasillos que se tallaban dentro de la veta. Cuando la roca constituía un serio obstáculo la resquebrajaban por medio del fuego, esto es, encendían un fuego para calentar la roca, que entonces podía ser fragmentada lanzándole encima agua fría. Sin duda, los métodos primitivos de explotación de los yacimientos metálicos deben mucho a la experiencia de los mineros del sílex, los cuales habían aprendido a trabajar a profundidades de 9 a 12 metros (p. 13).

La extracción del metal de los diversos tipos de mineral de cobre implicó unos complicados procesos de fundición. Por ejemplo, en los Alpes orientales, donde se cree que entre el 1300 y el 800 a.C. se produjeron unas 20.000 toneladas de cobre, el mineral y el combustible se apilaban juntos para la fundición, y tras tres etapas sucesivas de refino, el cobre bruto conseguido contenía sólo un 95 por 100 de cobre puro. Para su purificación posterior era necesario fundir el cobre con carbón vegetal y aplicarle un chorro de aire.

Si bien parece ser que hubo una verdadera Edad del Cobre en Egipto, aproximadamente hasta el 2000 a.C,. es decir, un período durante el que se utilizó el cobre puro, la historia de la utilización de este me-

tal estuvo, desde una fecha muy temprana, estrecha mente ligada a la del estaño. El cobre de la purez que se obtenía con los procedimientos antiguos e un metal relativamente blando; por consiguiente, a gunas de sus aleaciones tenían un valor práctico mu cho mayor. Entre ellas destaca el bronce, aleació de cobre y estaño, cuyas propiedades precisas deper den de las proporciones relativas de los dos metales El origen del bronce es incierto y bien puede habe sido diferente en distintos lugares, pero parece acer tado suponer que se descubrió por la fusión acciden tal de minerales mixtos de cobre y estaño, tal com sabemos que ocurre; hasta mucho más tarde no s distinguieron claramente las diferentes clases de mi nerales. Sin embargo, tiempo después, los minerale de cobre y estaño fueron mezclados en proporcione predeterminadas por los fundidores europeos.

Otra manera de fabricar bronce es fundir junta determinadas cantidades de cobre y estaño puro esta modalidad parece que se siguió en el Oriente Próximo. Es fácil extraer estaño bastante puro de su mineral principal, la casiterita, y parece que la ob tención del estaño estaba ya bien asentada en Euro pa hacia el 1500 a.C., desde donde se exportó hacia el Oriente Próximo. La idea de mezclar el estaño con el cobre puede haber sido otro hecho accidental: este último metal no se distinguía muy claramente de plomo, el cual se añadía al cobre para hacer que se fundiese con más facilidad.

Otro metal aleado con frecuencia con el cobre, para fabricar bronce, era el antimonio, procedente de los minerales caucásicos; algunas veces también fue usa do el arsénico por los egipcios. Eran frecuentes los bronces que contenían cinc, pero como no se distin guió claramente este metal hasta el siglo XVI d.C. su presencia en los bronces antiguos puede ser acciden tal. El análisis de tales bronces revela la presencia de otros muchos metales que pudieron muy bien ser impurezas del mineral originario y simplemente ser

arrastradas al proceso de fundido: a menudo su presencia pudo influir en la calidad de la aleación.

En comparación con los utensilios de sílex, los de cobre o bronce no tenían necesariamente un filo mejor, pero duraban más tiempo, eran mucho menos frágiles y podía dárseles la forma deseada. Los objetos de cobre de menor tamaño y los más sencillos se forjaban directamente a partir de una masa de metal, pero lo más frecuente era verter el cobre derretido en un molde de piedra o arcilla para darle la primera forma basta: para esto era más apropiado el bronce que el cobre, gracias a su punto más bajo de fusión. Posteriormente se sometía el metal a diversos martilleos, alternados con recalentamientos cuando se endurecía demasiado y era difícil de trabajar; el martilleo final, muy cuidadoso, daba filo al hacha, al puñal o a otros objetos. La colada en un molde de dos partes (fig. 41), que podía imprimir un dibujo al metal en toda su superficie, y después se abría para sacar la pieza, era difícil de realizar con cobre puro, ya que éste absorbía gases que al enfriar-

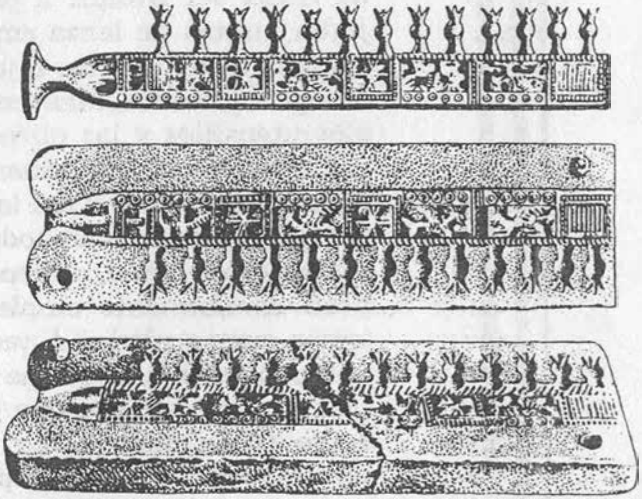


Fig. 41. Molde doble sirio y pieza de oro fundida en él. Ugarit. Hacia 1300 a. C.

se formaban burbujas y, por tanto, estropeaban la colada: sin embargo, podía practicarse satisfactoriamente con bronce. Las dos partes del mismo molde podían hacerse de bronce (para una mayor precisión) o de materiales más comunes, como la piedra, la arcilla o la alfarería; también podían prepararse herramientas o armas con un hueco para el mango mediante la inserción de un trozo de arcilla en el molde.

Los moldes de bronce más conseguidos se hacían mediante el proceso de *cire perdue* o cera perdida, cuyo principal fundamento era la utilización de cera modelada que se introducía dentro del molde de arcilla hasta llenar el volumen destinado al metal. Cuando el molde era horneado, la cera se fundía y escapaba, dejando canales preparados para recibir el bronce fundido; el molde se rompía y se sacaba una vez el metal enfriado.

La Edad del Bronce se caracterizó por la fabricación de muchas de las herramientas de hoy: por ejemplo, el pesado acotillo, el cuchillo de picar con mango, el cortafrío y la escofina de carpintero. Con respecto a las armas, la espada surgió en la temprana Edad del Bronce a partir del puñal; se introdujeron puntas de lanza embutidas, y la decoración de las hachas de guerra, a juzgar por los ejemplares de Hungría y Persia, atraviesa la frontera entre los simples utensilios y las obras de arte.

El contenido del cementerio real de Ur, que data de la primera mitad del tercer milenio a.C., nos muestra que ya se usaban todos los procesos actuales de labrado del metal, exceptuando una media docena. Eran comúnmente empleados moldes de arcilla de tres o cuatro piezas. A veces unos modelos de arcilla proporcionaban la forma original del molde, y en el caso de que hubiese que reproducir una figura grande se ponía dentro del molde un ánima de alguna sustancia barata, con lo cual la pieza fundida quedaba hueca. Para las piezas más grandes, tales como el inmenso pilón de bronce que fabricó Hiram de Tiro para el templo de Salomón, el molde se excavaba en

un trozo apropiado de arcilla: «Hízolos fundir el rey en la llanura del Jordán, de suelo arcilloso, entre Sucot y Sared» (Reyes I, 7, 46). Más de mil años de experiencia en la fundición del bronce hicieron posible el renacimiento egipcio en el siglo VII a.C. y el posterior trabajo del bronce de la Grecia clásica. Se batían copas empleando láminas de metal por el sistema de la forja en frío, que con frecuencia se templaban a fin de disminuir su dureza, y se hacía un tipo de estatuas laboriosamente labradas y cinceladas, con láminas de cobre clavadas a un ánima o una estructura de madera. Los ejemplos más antiguos son algunas figuras de toros, medio metro de alto por otro tanto de largo, y un panel en relieve, todo ello de cobre, fabricado en Mesopotamia en el cuarto milenio a.C.; proveniente de Egipto y en el mismo material hay una estatua de tamaño natural (ahora fragmentaria) de un faraón egipcio que reinó hacia el 2300 a.C.

Puede hablarse con una mayor amplitud de la avanzada tecnología de esta temprana época. Por ejemplo, se utilizó mucho el repujado, relieves hechos en una lámina de metal mediante el labrado de la parte posterior. Así se han hallado en el cementerio de Ur un cierto número de figurillas de oro representando animales, hechas de panes de oro de un grosor de unas pocas milésimas de pulgada, labradas en un rico relieve gracias a una serie de batidos y bruñidos, entremezclados con los templados necesarios. Asimismo debemos mencionar el uso de clavos para fijar las láminas de metal a la madera; también se usaron clavos o remaches para unir piezas de metal, pero el método de unión más corriente eran la soldadura mediante estaño y plomo o mediante cobre o bronce.

En este período se perfeccionaron la filigrana, el granulado y el uso de las incrustaciones. En un principio el hilo para la filigrana debía hacerse cortando una estrecha tira continua del borde de una lámina circular de metal: en el 2500 a.C. se sabía ya sacar un hilo de metal con una hilera. El granulado es me-

nos corriente, pero lo encontramos en la tumba de Tutânkhamón: se hacía soldando minúsculos glóbulos de metal a una base, tarea en extremo delicada. El *cloisonné*, constituido por celdas separadas por hilos de metal, se utilizó como engaste para piedras preciosas. Inventado por los sumerios, fue llevado a la perfección en Egipto, por ejemplo en el collar de Tutânkhamón. Este pródigo arte se difundió también por Europa. En las tumbas micénicas se han encontrado puñales de bronce del siglo VI a.C., con incrustaciones de oro, electro (aleación de oro y plata) y plata, representando escenas tales como la cacería de un león; pero Homero, cuyos distantes héroes duermen en esas tumbas, perteneció a la nueva edad en la que «el hierro arrastra al hombre por sí mismo».

LA PRIMERA EDAD DEL HIERRO EN GRECIA Y ROMA

La Edad del Bronce se asentó sobre dos técnicas difíciles: el trabajo de los mineros en las oscuras entrañas de la tierra y la fundición o mezcla de dos metales (uno de los cuales, el estaño, escaseaba siempre) para lograr una aleación. Dado que el mineral de hierro, en forma de limonita, se encontraba en la superficie con la abundancia suficiente como para evitar durante largo tiempo tener que recurrir a la minería, y que el metal tenía una multiplicidad de usos sin necesidad de mezclarlo, a primera vista es sorprendente que la larga Edad del Hierro haya comenzado tan tarde. Realmente no comenzaría hasta cerca del 1200 a.C., cuando la destrucción del Imperio hitita desperdigó a los herreros, pero ya estaban en circulación algunas piezas de hierro hechas por el hombre antes del 2500 a.C. y adornos de hierro y armas ceremoniales inmediatamente después del 2000 a.C. Pueden apuntarse dos razones para explicar esta demora. Los primeros hallazgos de hierro meteórico (p. 168) no provocaron ninguna investigación sobre el mineral de hierro de la tierra, con el cual, obvia-

mente, no tenía ninguna conexión. Además, la fundición experimental del mineral de hierro para ver si le ocurría como al mineral de cobre o a otros metales conocidos debió ser descorazonadora en grado sumo: como el hierro puro se funde a 1.535° C (comparado con los 1.083° C que se necesitan para el cobre), los experimentos sobre su fundición producirían sólo una masa de escoria y cenizas ocultando glóbulos de hierro sin fundir. Hasta la introducción de los altos hornos en la Edad Media no hubo medio de conseguir hierro fundido para colada, aunque desde los tiempos anteriores al cristianismo se había aumentado la temperatura de los hornos, asegurando un mejor tiro natural o usando fuelles. Se requerían martilleos repetidos sobre el hierro al rojo para retirar la mayor parte de la escoria de la lupia de arrabio antes de que éste fuese utilizable.

Pero aunque el hierro forjado así obtenido era más trabajable que otros metales disponibles, no podía lograrse un filo suficientemente afilado, sólo obtenible con el acero, hierro conteniendo aproximadamente de un 0,15 a un 1,5 por 100 de carbono y sin ninguna escoria residual. El problema se resolvió a medias con la invención de la cementación, realizada probablemente por los chalibes de Asia Menor, una tribu vasalla del Imperio hitita, hacia el 1400 a.C.; consistía en un proceso para acerar las barras de hierro forjado martilleándolas y calentándolas en contacto directo con el carbón vegetal, que difundía carbono en la superficie del metal. Algunos minerales de hierro de excepcional calidad se convierten en acero directamente si el proceso de fundición es suficientemente minucioso; de esta forma se obtuvo —pero mucho después, hacia el 500 a.C.— en la región centroeuropea de Estiria y Carintia, el Nórico romano. Mientras tanto, hubo que aprender que el acero necesita ser endurecido posteriormente templando el metal caliente en agua fría, cuyo efecto sobre el cobre y el bronce, en uso hacía ya mil años o más, era volverlos más blandos. Este procedimien-

to de atemperación parece haber surgido dos siglos después que la cementación. Con todo, la antigua metalurgia del hierro no alcanzó su punto culminante hasta el último milenio a.C., e incluso entonces consistía en la labor que realizaban los herreros con sus martillos y sus fuelles, ya que con los hornos pequeños y las bajas temperaturas de esta época era virtualmente imposible obtener hierro colado.

El hierro comenzó siendo utilizado como ornamento, y luego lentamente se fue convirtiendo en el material de las espadas y los puñales. Las puntas de lanza de hierro eran difíciles de fabricar, ya que necesitaban un hueco para el mango, lo cual no era fácil de conseguir excepto por colada, y parece que las hachas de guerra de hierro fueron escasas, si bien se ha encontrado una en Siria del 1300 a.C. que cuenta con un canal para el mango de oro y cobre. Pero la espada fue el don principal de la temprana Edad del Hierro, porque el bronce era relativamente quebradizo. La energía del golpe quedaba limitada ahora tan sólo por la fuerza del brazo humano; de ahí el gran poder de los asirios, armados de hierro, cuando bajaban «como el lobo sobre el rebaño».

Entre los nuevos útiles de la Edad del Hierro figuran las tenazas articuladas, sin las cuales el trabajo del herrero no habría sido posible; los yunques para hacer clavos; las hileras para estirar alambre; y las sierras de bastidor, casi idénticas a las actuales sierras para metales. La lima de hierro era muy útil para todos los procesos del metal, mientras que la primitiva lima de bronce no era más que una escofina de carpintero. Por regla general, como el hierro podía endurecerse, los antiguos modelos de herramientas fueron perfeccionados, y hasta las más pequeñas herramientas de mano tenían en parte la calidad y la forma tradicional que tienen hoy.

Pero no debemos caer en la exageración y la anticipación. El nuevo metal se usó primero para hacer armas; después para fabricar azadas y hachas y picos para granjas y minas; finalmente para las herramien-

tas perfeccionadas que hemos descrito. Las palabras pueden engañar: el hierro de comienzos de la Grecia clásica, que al parecer no era considerado adecuado para hacer rejas de arado, era evidentemente un metal muy inferior si se le compara con el material convenientemente endurecido y templado que usaron las legiones romanas hacia el comienzo de la era cristiana. Sin embargo, la civilización griega del siglo VI a.C. se asentó sobre el uso del hierro del mismo modo que la expansión del poderío romano, que finalmente llevó esta civilización a los límites más alejados del mundo occidental, estuvo asociada al hierro a lo largo de su dilatada historia. Las minas de hierro que abrieron los etruscos en Toscana y en Elba hacia el 900 a.C. atrajeron muy pronto la codicia de los romanos y hubo pocas provincias imperiales, desde España hasta el Nórico alpino y Dalmacia, donde la minería del hierro no se contase entre los beneficios indudables y probables incentivos de la conquista.

En una breve ojeada a la minería del mundo clásico, debe dársele un puesto preferente a las minas de plata de Laurion, donde los atenienses venían trabajando desde el 600 a.C., tras una explotación micénica mucho más temprana. En las grandes minas casi siempre trabajaban prisioneros, incluyendo a los prisioneros de guerra, cuyas vidas y miembros se consideraban enteramente disponibles. Pero lo que cautiva nuestra imaginación es el contraste entre la admirada democracia ateniense y esas minas áticas trabajadas por esclavos, de las cuales esta democracia extraía una parte considerable de su bienestar y ocio consiguiente. El mineral era en su mayor parte galena, la cual producía aproximadamente 1,7 kilos de plata por tonelada. La extracción se realizaba en dos etapas. Primero, la aleación de plata y plomo obtenida por fusión era repetidamente fundida y dejada cristalizar, eliminándose el plomo, casi puro, depositado en primer lugar. Cuando el contenido de plata alcanzaba entre el 1 y el 2 por 100, la plata se extraía

por copelación. Sin embargo, esto no se realizaba de forma totalmente satisfactoria, y posteriormente los escoriales eran tratados de nuevo, casi siempre con beneficio, como se hizo en otras muchas zonas mineras antiguas, incluyendo las minas de plomo que se explotaron a lo largo de tres siglos en Mendip, durante la ocupación romana de Britania.

Hacia finales del siglo I d.C., cuando se interrumpieron los trabajos de Laurion, que no se reanudaron hasta los tiempos modernos, se habían excavado unos 2.000 pozos, alcanzando los más profundos más de 100 metros. El acceso se realizaba por una serie de escaleras de mano o por troncos de árboles entallados fijados a los lados de los pozos; el mineral se izaba por medio de sogas y poleas. Los techos de las galerías se sostenían por pilares del mineral más pobre, que quedaban sin trabajar. La ventilación se conseguía por medio de galerías paralelas, respiraderos y, de vez en cuando, fuegos para incrementar las corrientes. Los mineros trabajaban a la luz de una lámpara, con un pico y una cesta (fig. 42). Una vez

Fig. 42. Mineros griegos. De una tablilla corintia de arcilla. Siglo VI a. C.

en la superficie, el mineral se pulverizaba y después se lavaba para separar las partículas pesadas de mineral de las rocas más ligeras: este proceso de concentración del mineral había ya sido practicado por los mineros del oro en Egipto hacia el 3000 a.C.

La minería romana se distingue de todas las otras por su escala y extensión (fig. 43). Incluso en la leja-

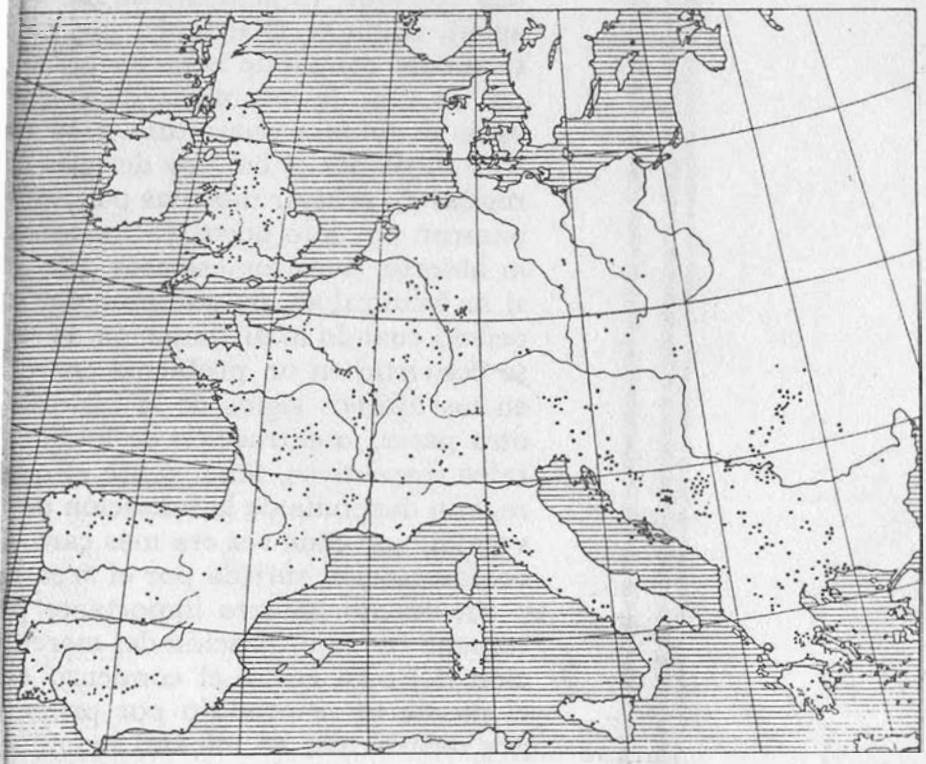


Fig. 43. Situación de las minas romanas en Europa.

na Britania explotaban con regularidad el plomo (con su plata), el cobre, el hierro y el estaño. Los criminales condenados (*damnati in metallum*) y los esclavos probablemente fueron un elemento sin importancia en el total de la fuerza de trabajo si se la compara con el trabajo libre de los nativos, fácilmente obtenible en cada provincia; el minero comenzó a ser reconocido como artesano especializado. La mejora técnica más importante llevada a cabo por los romanos fue la aplicación del tornillo y la rueda de achicar de Arquímedes para el drenaje de las minas. El primero puede haber surgido de los intentos para solucionar el problema de la irrigación en Egipto antes de la época de Arquímedes; en todo caso fueron los roma-

nos los que transformaron la *cochlea* (caracol de agua), como se la llamaba por su forma, en un instrumento común de la minería. En cuanto a la segunda, en una de las minas de cobre de Río Tinto, el agua se subía a una altura total de cerca de 30 metros mediante el empleo de ocho pares sucesivos de ruedas de achicar movidas por molinos. Los romanos pasaron por alto pocos yacimientos de mineral a cielo abierto, pero los estratos más profundos, incluso si se localizaban, no pudieron ser explotados con beneficio cuando la disminución de la fuerza de trabajo se convirtió en un problema grave, tal como ocurrió en los últimos siglos de la historia del Imperio. Por otra parte, la extracción de los metales de sus minerales respectivos, tema sobre el que volveremos ahora, aún dependía de la fundición por medio de carbón vegetal, que cada vez era más caro debido a la amplia desforestación sufrida por el área mediterránea.

Un descubrimiento importante para la metalurgia romana fue la utilización del mercurio para la extracción del oro. Hacia el comienzo de la era cristiana el mercurio se produjo por primera vez en España por destilación; su mineral (comúnmente sulfuro) se calentaba en un horno equipado con un simple aparato para condensar el vapor. El oro no sólo se encuentra en la forma aluvial ya mencionada (p. 167), que podía separarse por el método del lavado en la batea, tal como aún se hace en los yacimientos de oro de los tiempos modernos, sino también en forma de filón distribuido irregularmente en una roca dura. Para extraer este oro los romanos trituraban el mineral y después lo trataban con mercurio, en el que se disolvía el oro formando una amalgama. Entonces el mercurio se filtraba a través de un cuero y se destilaba; el oro quedaba en el alambique, y el destilado de mercurio se recogía para usarlo posteriormente. Los romanos también aumentaron su producción de oro y plata extrayéndolos del cobre por licuación. Esta se basa en que cuando se funde el cobre con una gran cantidad de plomo no se disuelven uno en

otro, sino que forman dos líquidos inmiscibles, como el aceite y el agua. Los metales preciosos presentes en el cobre se transferían al plomo, del que se recuperaban por copelación.

En la minería del estaño el cambio más importante fue el cierre de las minas españolas hacia mediados del siglo III d.C., y la extinción de las fuentes de estaño de aluvión. Como consecuencia de esto, los filones de Cornualles, que habían sido utilizados desde el tercer milenio a.C. y habían dado lugar al nombre de «metal británico», comenzaron a explotarse con renovado ardor. Una parte del estaño se mezclaba con un 30 por 100 de plomo para hacer peltre, que fue muy popular para fabricar las vasijas usadas en las casas romanas; en la Edad Media la proporción de estaño en el peltre disminuyó bastante. Pero la mayor parte del estaño se dedicaba a la fabricación de bronce, para lo cual los romanos explotaban las ricas reservas de cobre de España. El cobre se exportaba a lugares tan lejanos como la India, y la fabricación de artículos de cobre y bronce se desarrolló en la factorías de Capua, cuyos productos en serie no sólo se han encontrado en toda Italia, sino en lugares como Finlandia. El latón fue una aleación nueva. Siendo una aleación de composición variable de cobre y cinc, puede identificarse posiblemente con el «bronce blanco», que se usó para embellecer las puertas del palacio de Sargón II, pero no llegó a Occidente hasta la época de Augusto, quien acuñó monedas en latón: aun entonces continuó siendo por lo menos seis veces más caro que el cobre, y en algunos sitios del mundo antiguo tenía un valor más alto que la misma plata. Hasta el siglo XVI d.C. el cinc puro fue desconocido; el latón se hacía mediante un procedimiento de cementación en el que la calamina (carbonato de cinc), el cobre y el carbón vegetal se calcinaban juntos.

La metalurgia europea del hierro tuvo su principal centro importante a partir del siglo X a.C. en el Nórico, donde había llegado proveniente del Imperio

hitita. Cerca de cuatrocientos años después el centro se desplazó a las tierras célticas, y especialmente a España, donde los herreros inventaron la forja a la catalana, en la que usaban alternativamente dos pares de fuelles a fin de mantener una corriente de aire constante. También hubo hornos de cuba de dos pisos; la parte más baja y estrecha se llenaba con carbón vegetal, la parte más alta y amplia con mineral y carbón mezclados. La forja a la catalana daba un hierro directamente maleable, el horno de cuba una lupia sumamente carbonizada, que necesitaba una forja posterior; en ninguno de los dos casos la temperatura era suficientemente alta como para producir hierro líquido para colada. Se fabricaba algún acero directamente del mineral de hierro del Nórico; pero la mayor parte se hacía por el procedimiento de la cementación ya descrito (p. 177). Sin embargo, el mejor acero conocido por los romanos era el llamado «hierro sérico», al que se atribuía un origen chino; realmente era *wootz* —un acero de crisol con gran cantidad de carbono, hecho en forma de discos de unos pocos centímetros de diámetro—, que llegó a Roma del sur de la India a través de Abisinia; su nombre proviene probablemente de una corrupción de la palabra kanara empleada para designar el acero.

A pesar de que la explotación de los metales por los griegos y los romanos implicó un número relativamente escaso de procedimientos nuevos y nunca se amplió a una escala suficientemente extensa como para originar una revolución industrial, ni tan siquiera una concentración de industrias en el sentido moderno, sin embargo dejó una impronta de importancia tanto en las artes de guerra como en las de paz.

La armadura y el escudo defensivos de los hoplitas griegos estaban hechos de bronce, pero sus armas principales consistían en una lanza de casi tres metros con la punta de hierro y una espada corta y recta de hierro. Al principio los romanos se equipaban como los griegos, pero más adelante las legiones im-

pusieron el uso de una coraza de hierro hecha de láminas articuladas y tiras superpuestas para lograr una mayor solidez. Usaban una espada más larga, pero su arma principal consistía en un venablo de la misma longitud que la lanza griega, dividido igualmente en un mango de madera y una cabeza de hierro. Originalmente las dos partes se remachaban juntas, pero posteriormente se usó un pequeño clavo de madera, que se rompía con el impacto, con el fin de que el arma quedase inutilizable para el enemigo; después se consiguió el mismo objetivo haciendo el hierro lo suficientemente blando como para que la punta se curvase hacia abajo. El empleo de la caballería pasó de Oriente a Occidente, pero los famosos escuadrones de caballería de Alejandro Magno usaban unas armaduras más pesadas que las de los hoplitas. Tres siglos después los partos, que hicieron fracasar los intentos romanos de extender su Imperio más allá del Eufrates, no sólo iban ellos mismos completamente acorazados con catafractas, sino que contaban con una protección similar para sus caballos. Tanto su armadura como su arco —con el que en las retiradas lanzaban el famoso tiro parto— fueron posteriormente imitados por los romanos.

Ni la ballesta ni las diversas máquinas de artillería que aprovechaban la fuerza de cuerdas retorcidas, en las que los romanos siguieron los pasos de los cartagineses, y especialmente de los griegos, se construyeron de metal, si bien las flechas tenían una punta de hierro y la catapulta disparaba en ocasiones un dardo de cabeza de hierro que pesaba casi tres kilos (p. 359). Sin embargo, en tiempos de los asirios, los asedios giraban en torno al ariete con su pesada cabeza de hierro. Generalmente este instrumento iba sobre ruedas; los griegos le añadieron un alto bastidor de madera para hacer oscilar el ariete como un péndulo y los romanos una *terebra* para derribar el parapeto del muro o la puerta. Pero los romanos fueron maestros en el arte de la resistencia frente a los asedios. Las grandes murallas que dejaron tras de sí

entre el Danubio y el Main y a través del norte de Britania dan testimonio de ello. Así como también lo dan los restos de sus campamentos temporales, con sus fosos y terraplenes, que los legionarios habían aprendido a construir por sí mismos, como una cosa natural, con las herramientas de hierro que transportaban consigo.

El uso del hierro como algo estructural en el período clásico se menciona en otra parte del libro (pp. 240, 243); más interés tiene el empleo de los metales en las pequeñas obras de arte, donde los griegos y los etruscos impusieron un tipo de producción de una calidad asombrosa, que sería imitada por los romanos. La inspiración, una vez más, venía de Oriente: por ejemplo, los griegos del siglo V a.C. estuvieron profundamente influenciados por la orfebrería de la corte persa. Pero con frecuencia los griegos y los etruscos sobrepasaron a sus maestros orientales, como, por ejemplo, en la delicadeza de su granulado y sus filigranas. Quizá el trabajo de los romanos sea menos sutil, si bien supieron hacer un repujado en plata en donde resaltaba al máximo el juego de luces: los medallones de oro macizo de sus emperadores son un logro característico.

Con respecto a las nuevas técnicas de ornamentación, Europa dio, en el último período micénico, las primeras muestras de verdadero esmalte, esto es, materia vítrea fundida sobre una base metálica, tal como aparece en la decoración de algunos anillos de oro que se han conservado en Chipre. Se hacían calentando pequeños fragmentos de vidrio roto, dispuestos en forma de disco dentro de un *cloison* redondo de oro. Los griegos fabricaron pequeños trozos de esmalte similares desde los siglos VI o V en adelante, y posteriormente lo hicieron los celtas. Las grandes estatuas griegas criselefantinas (p. 26), como las de Atenea *Parthenos* y Zeus Olímpico, constituyeron una novedad en cuanto al tamaño y los materiales, si bien, estrictamente hablando, no puede decirse lo mismo con respecto a la técnica. El marfil se usa-

ba para simular la carne, y los vestidos se hacían de panes de oro batido que podían quitarse. En el siglo III a.C. se usó la misma clase de repujado en las planchas de bronce colocadas sobre unas columnas de piedra para formar la imagen del dios Sol, de unos 40 metros de altura, conocida como el Coloso de Rodas. Los griegos también consiguieron éxitos importantes en el fundido de grandes figuras de bronce usando varios moldes de arcilla y después remachando o soldando las partes.

El uso de monedas, que parece haberse iniciado hacia el mismo período, pero de forma independiente, en el Lejano y el Próximo Oriente, fue conocido por los mercaderes griegos de Asia Menor como una práctica introducida por los reyes lidios, que habían estampado un distintivo consistente en una cabeza de león sobre lingotes de electro que tenían todos un mismo peso y una misma ley. De acuerdo con la tradición, los griegos del continente acuñaron la primera plata un poco después del 700 a.C. en Egina, donde se acuñaron piezas de plata de un peso dado con una tortuga. El dibujo se labraba invertido con un martillo y un cincel en una pieza de bronce o de hierro que se incrustaba en un yunque; entonces se presionaba sobre un disco del metal para acuñar en el hueco anterior mediante un troquel plano. Pero en el transcurso de un siglo se consideró conveniente grabar ambos lados de la moneda, con lo que se labró un segundo dibujo en la cabeza del troquel. Los discos sin dibujo para acuñar se colaban vertiendo el metal en una serie de depresiones poco profundas hechas en arcilla cocida o piedra. Dado que el dibujo tenía un relieve muy marcado, se requería una gran fuerza para conseguirlo. Sin embargo, hay que destacar que la tradición de troquelar y acuñar, a diferencia de muchas de las técnicas más refinadas de la metalurgia clásica, no sobrevivió a la caída del Imperio romano en Occidente, acontecimiento que sería ya anunciado en el siglo III por la decadencia de la producción metalúrgica.

EL LABRADO DE METALES EN LA EDAD MEDIA

No se conoce prácticamente nada sobre la minería de la Edad Media, ni tan siquiera si las emisiones de monedas de los monarcas anglosajones y carolingios se hicieron a partir de metal viejo o de los productos de nuevas extracciones. Hacia la época de Carlomagno, las grandes minas españolas habían pasado a manos de los musulmanes; al principio la producción disminuyó, pero fueron los musulmanes quienes descubrieron los medios para utilizar el sulfuro de cobre, del que obtenían sulfato de cobre por oxidación. El sulfato era disuelto en agua y derramado sobre hierro, con lo que se precipitaba el cobre. Pero la ruptura entre España y la cristiandad mediterránea es quizá más significativa como parte del proceso por el que, cuando se clarificó la escena, resultó que el centro de la minería europea se había trasladado a las minas sajonas de Europa central. Las del monte Harz estaban en explotación antes del 1000 d.C., las de Freiberg hacia el 1170 y en el siglo siguiente las de países tan lejanos como Hungría.

Por un afortunado azar, los métodos de la minería vigentes en la Alta Edad Media han sido registrados cuidadosamente por un observador objetivo, de los que carece casi por completo la historia temprana de la tecnología. Este observador fue el médico sajón Georg Bauer (comúnmente latinizado como Agrícola), que había estudiado medicina en Italia, aunque luego ejerció en el distrito minero de Joachimsthal, en Bohemia. Por aquella época el valle era famoso principalmente por su plata, que se había encontrado allí en 1516 con tal profusión que dio su nombre a una moneda de plata conocida como *thaler* (tálero), el epónimo del dólar moderno. Sin embargo, como el distrito había sido famoso durante mucho tiempo por la minería de metales comunes (hoy es famoso por el uranio), los doce libros de *De re metallica,* publicados en 1556, son una guía exacta de los sistemas

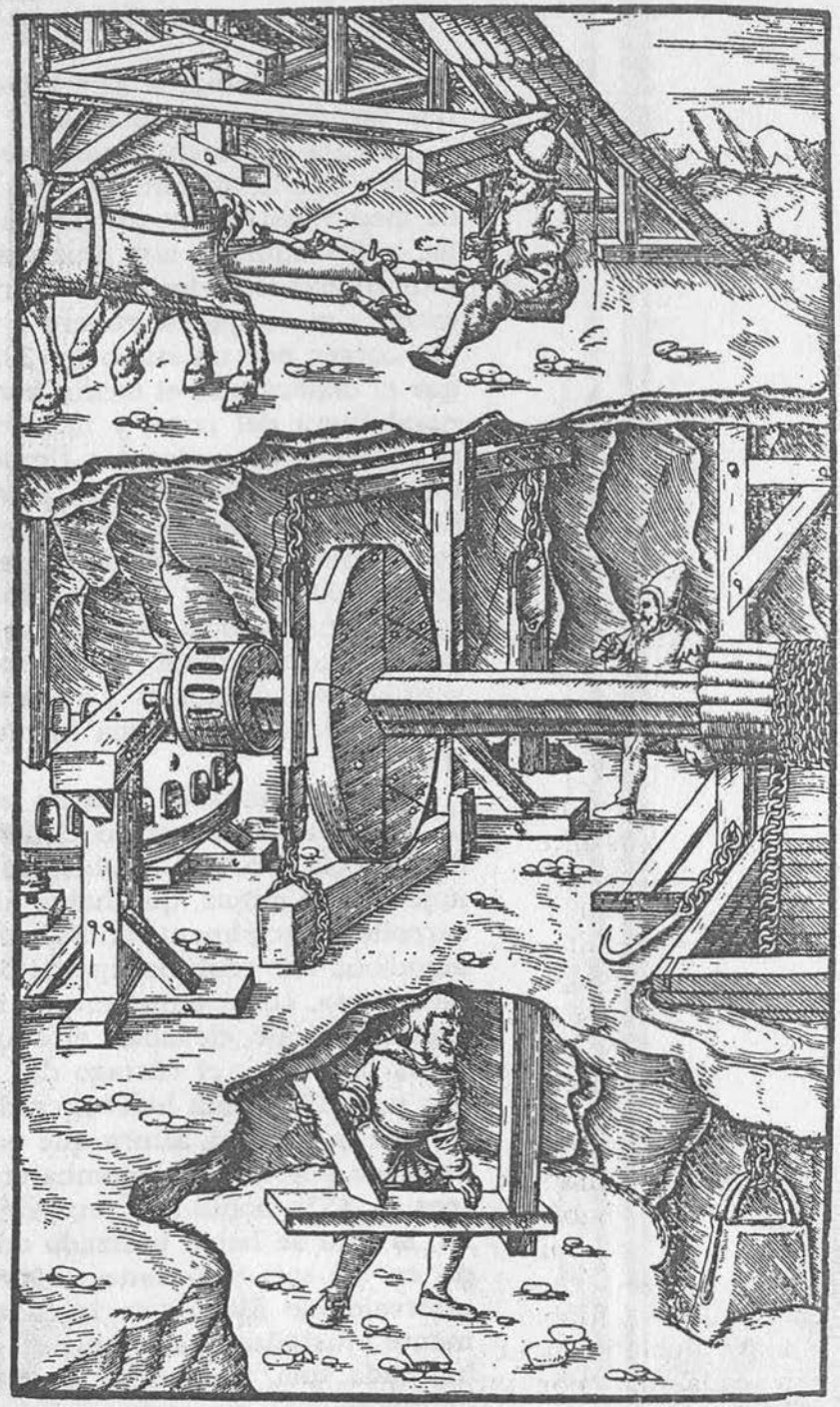


Fig. 44. Utilización de un malacate en una mina. Agrícola, 1556.

empleados durante la Alta Edad Media en una industria fuertemente tradicional.

Agrícola nos cuenta que la sección del pozo de una mina era normalmente de unos tres metros por cerca de medio metro. Sus excelentes ilustraciones referentes a los equipos nos muestran que éstos no eran muy diferentes a los de los períodos más primitivos, excepto en lo que se refiere a una vagoneta que debía correr por un surco (p. 307). Agrícola considera que el malacate es el medio normal para sacar el mineral fuera del pozo, y menciona el uso de ruedas dentadas y de malacates tirados por caballos para los grandes pesos (fig. 44). Está al tanto de los problemas de ventilación de las minas, de las peligrosas condiciones en las que «la llama de las lámparas también se extingue», y de las explotaciones abandonadas como consecuencia de los «vapores» ponzoñosos o del aire contaminado; nos informa sobre el uso de ventiladores giratorios y fuelles. Es evidente que la rueda hidráulica era una fuente habitual de energía (fig. 45).

Desde el punto de vista de la historia más reciente, tienen más interés las detalladas consideraciones de Agrícola sobre los problemas concernientes al drenaje de las minas, que había alcanzado un gran desarrollo especialmente en Sajonia en el siglo anterior. Menciona «un séptimo tipo de bomba inventada hace diez años», consistente en una serie de tres bombas aspirantes que elevaban el agua sucesivamente, en todas las cuales el vástago del pistón era accionado por una sola rueda hidráulica de 4,5 metros de alto. Ya que la máxima altura que podía alcanzar el agua aspirada por una sola bomba era de unos nueve metros (p. 452), había que recurrir a la bomba de cadena, la cual se había utilizado durante bastante tiempo en las seis variedades descritas por Agrícola. A intervalos se fijaban en la cadena bolas cuidadosamente ajustadas, y al entrar en el cuerpo de la bomba, cada una, por turno, actuaba como un pistón unidireccional elevando el agua ante ella. Agrícola

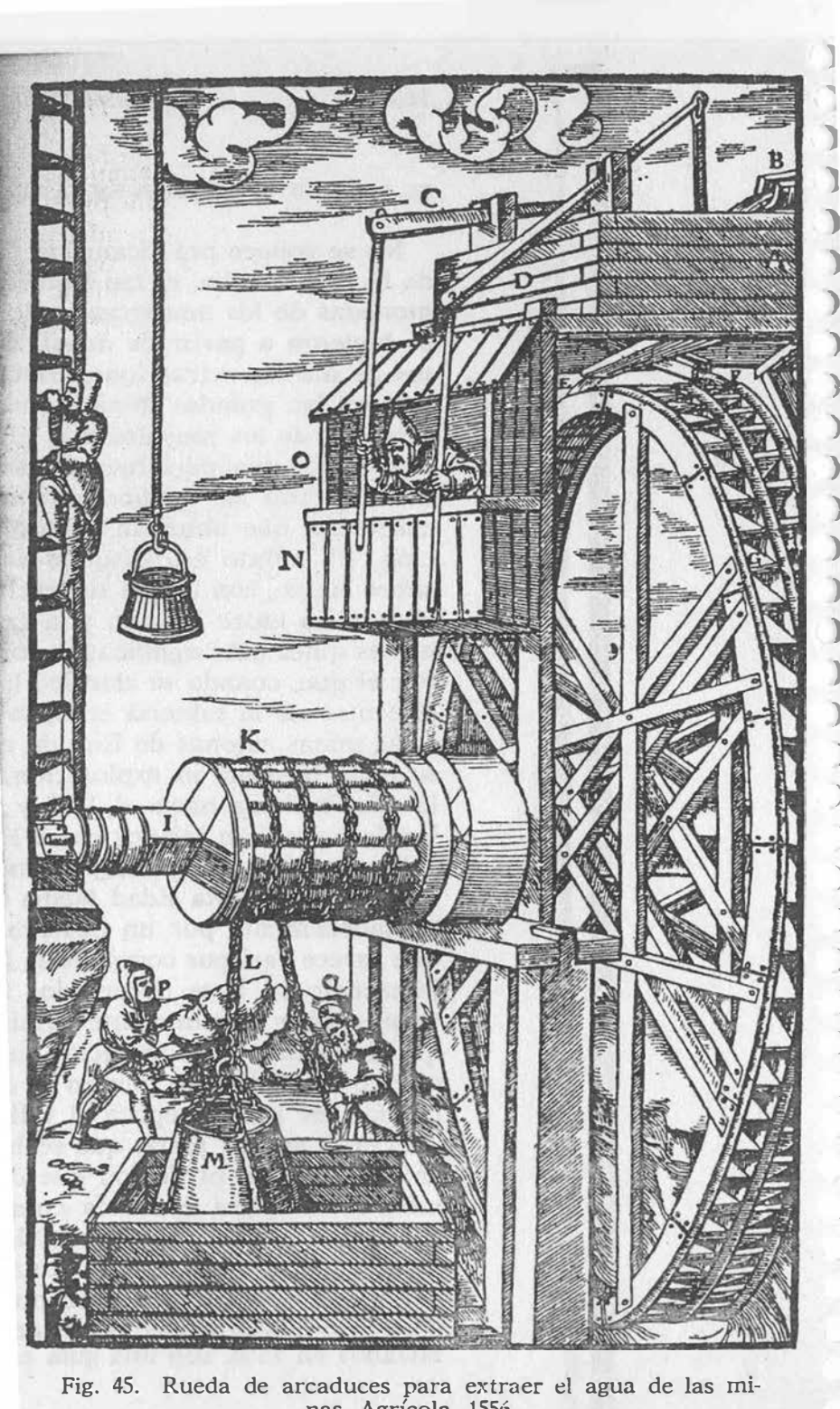


Fig. 45. Rueda de arcaduces para extraer el agua de las minas. Agrícola, 1556.

cita una serie de tres de tales bombas en Chemnitz, en los Cárpatos, movidas por 96 caballos a una profundidad de 200 metros. «Estos caballos descienden hasta las máquinas por un pozo inclinado, que baja y gira como un tornillo, descendiendo gradualmente.» Estos dispositivos tan complicados nos demuestran que hacia fines de la Edad Media la minería había llegado a ser una industria altamente rentable. También hay pruebas de que entre los mismos mineros hubo grupos de técnicos competentes, capaces de mejorar y manejar la complicada maquinaria.

El declive había comenzado en el labrado de los metales, a diferencia de la extracción de los minerales metálicos, antes de la caída del Imperio romano en Occidente y continuó a lo largo de la Edad Media. Los materiales que han llegado hasta nosotros no han sido aún examinados con detenimiento, pero parece que, a excepción del hierro, casi se interrumpió el labrado de los otros metales; sin embargo, ninguna época, por oscura que sea, puede ocultar la necesidad de herramientas y armas. Las artes que se habían practicado en la Galia romana sobrevivieron en la Francia merovingia, y hubo algunos expertos sirios que trabajaron en Europa occidental, mientras que hacia el siglo VIII había libros en circulación que describían las artes bizantinas. Se desplegó una gran destreza en la forja de espadas y en la decoración de sus empuñaduras y sus vainas. La muestra más importante que nos queda de esta época es un tipo de espada soldada en molde que contenía varillados de hierro de 0,25 milímetros de espesor por 3 milímetros de anchura, retorcidas en todas direcciones y a lo largo de toda la hoja, imprimiendo a la superficie unas marcas como las dejadas por un gusano. La soldadura requería una gran habilidad, e incluso los árabes importaban las obras de los herreros borgoñones y francos.

Dos de los usos medievales más interesantes relacionados con los metales pueden ya encontrarse desde el renacimiento de la cristiandad occidental en

tiempos de Carlomagno. Uno de ellos es la construcción de órganos de iglesia con tubos de cobre o bronce. El órgano ya había sido bien conocido en el mundo antiguo: el problema de proveer aire uniforme a presión por medios mecánicos había atraído la atención de dos grandes mecánicos alejandrinos, Ctesibio y Herón. Su empleo en los oficios cristianos parece haber comenzado en Constantinopla en el siglo IV, y San Jerónimo habla de un órgano en Jerusalén, con dos pieles de elefante como recipientes de aire, que se oía a una milla de distancia. Los francos recibieron su primer órgano en el 757, como regalo del emperador bizantino, y hacia el siglo X los órganos eran bastante comunes en Inglaterra, así como en Francia y Alemania: por ejemplo, San Dunstan instaló dos, y hubo uno en la catedral de Winchester que se dice estaba provisto de 400 tubos de bronce y 26 fuelles. Los tubos se manejaban primeramente tirando de unos vástagos, pero antes del 1100 ya se empleó el teclado en la catedral de Magdeburgo; los pedales se añadieron antes de finales de la Edad Media. Hacia la época de Samuel Pepys, que deseaba comprar uno, los órganos pequeños era una distracción bastante corriente en las casas particulares.

También data del siglo VIII el vaciado en bronce de campanas de iglesia. Sus antecesoras se habían hecho de chapa de hierro, a semejanza de las pequeñas campanillas de mesa romanas. Probablemente al principio se utilizó el procedimiento de la *cire perdue;* más tarde la campana se vació entre una tulipa o molde exterior y un macho o molde interior, la primera cubierta y el último revestido de arcilla cuidadosamente secada y mezclada con crines de caballo y estiércol. En el siglo XI aún se consideraba grande una campana de Orleáns que pesaba 1.200 kilos, pero el tamaño de los moldes aumentó —de ahí los «campos de campanas» anejos a las grandes iglesias, donde se fundían las campanas *in situ*—, de modo que la experiencia de los campaneros preparó con el tiem-

po la vía que conduciría a la fundición de cañones (fig. 46).

Mientras tanto, los contemporáneos de Carlomagno estaban aprendiendo a apreciar la importancia de las armaduras en la guerra, especialmente para la caballería. Al principio muy pocos de los pueblos germánicos que recorrían el Imperio romano en Occidente adoptaron de los romanos la armadura o el

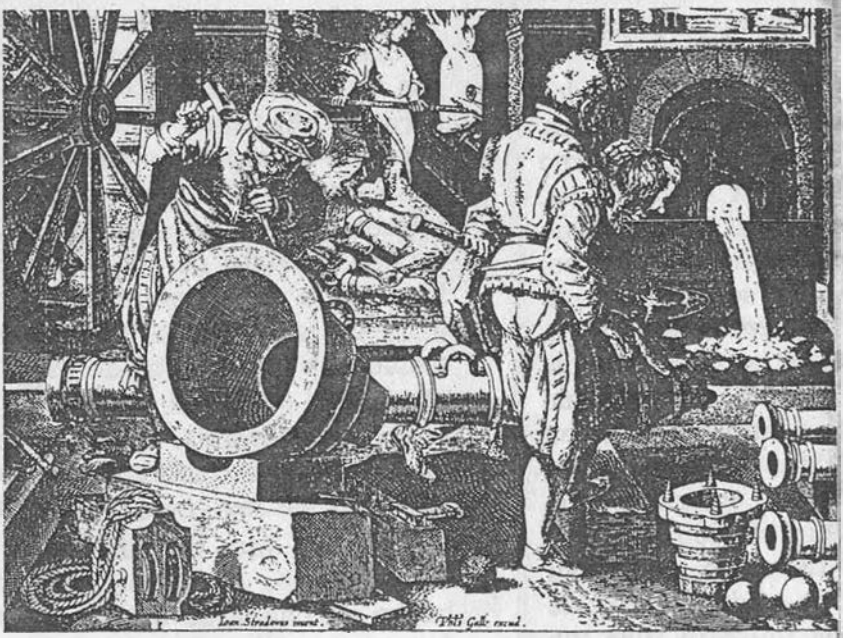


Fig. 46. Taller de fundición de cañones de bronce, cuya fuerza motriz es proporcionada por un molino de rueda. Siglo XVI.

arte de fabricarla, que sobrevivió principalmente en el Imperio bizantino: al principio las cotas de mallas anilladas se traían de Oriente. Pero los herreros medievales llegarían a ser sobre todo armeros, que equiparían a los caballeros feudales con unos 50 kilos de mallas o chapas. Para formar la malla soldaban o remachaban anillos de hierro, modelándose de forma que cubrieran los pies y brazos e incluso la cabe-

za (fig. 47); hacia el siglo XII esta última podía estar completamente cubierta (excepto unos agujeros para los ojos y la nariz) por un yelmo de acero. Hacia el siglo XIV la armadura de placas, que originalmente había sido un refuerzo de la cota de malla, fue des-

Fig. 47. Cota de malla, de la estatua de Aymer de Valence (muerto en 1324), en la abadía de Westminster.

plazando a esta última. Entonces la destreza de los herreros se demostró puliendo e incrustando, y, de una forma más práctica, ingeniándoselas para obtener una protección donde se juntaban las placas (figura 48).

Fig. 48. Taller de armero a comienzo del siglo XVI, mostrando algunos de sus productos y utensilios usados para su fabricación.

Un acontecimiento clave en la Edad Media fue la colonización gradual de grandes regiones en la Europa centrooriental, en las que los germanos y otros colonos desarrollaron no solamente la minería, sino el labrado de los metales. Como era de esperar, los minerales que contenían plata fueron los que más atrajeron la atención. Pero además del mineral de hierro, fácilmente convertible en acero de Estiria y Carintia, se hicieron grandes progresos en la producción de cobre en Sajonia y Suecia; de plomo, producido casi en igual cantidad en Europa central e Inglaterra; de estaño en Cornualles, y, finalmente, de

cinc. Sin embargo, la fundición y la copelación se llevaban a cabo en general según los métodos antiguos; los nuevos progresos deben buscarse principalmente en la metalurgia del hierro.

Las formas más antiguas de fundir el hierro continuaron utilizándose a lo largo de la Edad Media; con frecuencia en las laderas de las colinas, donde podía contarse con un buen tiro natural. Tanto la forja a la catalana como un tipo más simple de horno corso continuaron en uso, conjuntamente con el *Stückofen* —horno básicamente de origen romano— de Estiria y Renania. Este era un horno de unos tres metros o más de alto, en el que el mineral se veía sometido a reducción ininterrumpida con carbón vegetal. El forjado se realizaba con ayuda de dos martillos hidráulicos, y hacia el siglo XIV había bocartes hidráulicos para triturar el mineral. Como la energía hidráulica también se necesitaba para accionar los fuelles de los grandes hornos, la industria tendió a desplazarse de las zonas mineras hacia la vecindad de las corrientes rápidas, cambio que impidió la utilización de carbón en las fraguas. El carbón se había venido utilizando en Lieja desde antes de 1200, y en la Alta Edad Media se encontraba entre los herreros y fundidores en Inglaterra y otros países de Europa occidental, pero nunca en tal escala que pudiese rivalizar con el uso del carbón vegetal. Una innovación mucho más decisiva, lentamente establecida entre los siglos XIII al XV, fue la colada del hierro, posible gracias a la obtención de temperaturas más altas en el horno y a la fabricación de un hierro que tenía un contenido de carbono relativamente alto: virtualmente el hierro colado significó un nuevo producto que hizo valer sus derechos con el auge de la artillería. Sin embargo, los procedimientos de extracción eran aún muy ineficaces, y era raro conseguir mucho más de la mitad del hierro a partir de su mineral. Mientras tanto, desde el siglo VIII en adelante, la fabricación de acero, principalmente por el procedimiento de la cementación, se convirtió en la especialidad de

Estiria y Carintia, cuyos productos se vendían en lugares tan lejanos como Turquía e Inglaterra.

Los utensilios de hierro de la Edad Media, incluyendo las herramientas del agricultor, el artesano y el soldado, se fabricaban en su mayoría siguiendo los métodos tradicionales. Por ejemplo, las mejores espadas se forjaron durante un tiempo en el norte de Italia, y de allí pasó a Solingen, en el valle del Rin, como consecuencia de las guerras italianas de Federico Barbarroja. Por otra parte, las guadañas eran especialmente un producto estirio, y las agujas de hierro —primero con un gancho y luego con un verdadero ojo— se hicieron primero en el sur de Alemania, donde en el siglo XIV se empleaba la fuerza hidráulica para fabricar alambre de hierro por el método de la hilera. También eran especialistas el fabricante de clavos (fig. 49) y el fabricante de herramientas, que proveía de un equipo más complejo al albañil y al carpintero, especialmente la broca y el berbiquí para hacerla girar. Con todo, las herramientas de los comerciantes medievales, incluyendo aquellos cuyo comercio era la guerra, eran fabricadas en

Fig. 49. Fabricante de clavos alemán. Fines del siglo XV.

su mayoría por el herrero, que forjaba el hierro en su fragua, y se veía animado a imitar al especialista y a rivalizar con él por los altos costos del transporte a largas distancias.

Se demuestra convincentemente que la refinada labor de labrado de los griegos y los romanos continuó con sus sucesores, los estados bárbaros de Occidente por los tesoros, de mediados del siglo VII, encontrados en el enterramiento de barco de Sutton Hoo, en Suffolk. Estos tesoros incluyen un cierto número de colgantes en forma de bolas con decoración de esmalte; una bola engarzada en oro, marfil y granates, reputada como la joya más importante que perdura de esta época; granates engastados en oro *cloisonné* con tal refinamiento que incluso hay en el fondo de cada celdilla láminas de oro labrado a fin de aumentar su brillo; y más de diez bolas de unos 25 centímetros de diámetro, hechas entallando en un torno una hoja de plata clavada a una pieza de madera hueca. La incrustación tiene una larga historia que va desde la espada de Childerico en el siglo V, pasando por las placas de esmalte de la corona que se colocó sobre la cabeza del emperador Conrado II en 1027, hasta las puertas de bronce con incrustaciones de plata que decoraban las grandes iglesias medievales de Alemania e Italia.

Abundan los esmaltes, no sólo del tipo *cloisonné*, en el que el vidrio está rodeado de una estrecha tira o alambre de metal, sino también otros en los que el espacio destinado a esmaltar está rehundido o grabado en relieve, o incluso en los que el esmalte está pintado, si bien este último procedimiento es de finales del siglo XV. El ejemplo más rico y más antiguo es el soberbio cáliz de Ardagh, que tiene una base de esmalte para sus relieves de plata y paneles de esmalte en su pie, pero la más famosa es la «joya de Alfredo». El esmalte se aplicó principalmente para enriquecer los tesoros sagrados de la Iglesia y fue realizado al principio en talleres adjuntos a los monasterios; se conseguía un trabajo fino especial-

mente en Limoges y en los valles del Rin y del Mosa. Sin embargo, posteriormente hubo un trabajo más barato en cobre dorado, que era efectuado en factorías laicas por artesanos que, como los campaneros, llevaron su habilidad y sus herramientas a sitios nuevos, estimulando la demanda por la disponibilidad de sus productos.

El vaciado en oro y bronce continuó sin interrupción desde la época romana. Por ejemplo, se han encontrado en las Orcadas moldes de la época vikinga formados por la unión de dos improntas en arcilla del modelo de una espada de madera; tras ser cocidas mucho rato se enterraban en un foso de colada para luego llenarlas con el bronce fundido. En contraste con esto, a principios del siglo XII, y siguiendo el procedimiento de la *cire perdue,* nos encontramos con una maravilla tal como el candelero de Gloucester, de 45 centímetros de altura, con una talla intrincadísima, fundido en bronce con un molde único y posteriormente cincelado y dorado (fig. 50). Tiempo después, la principal limitación fue el problema que entrañaba el manejo de grandes cantidades de metal fundido: así, se cree que el orfebre que fundió las primeras efigies de bronce del rey Enrique III de Inglaterra y su nuera Leonor de Castilla, que tienen 10 centímetros de grosor, fue ayudado por campaneros. Aproximadamente un siglo después, la demanda de objetos de metal fundido provocó la adopción de la práctica moderna del moldeo en arena y el uso de moldes articulados. Como ocurre con muchos de los inventos que luego resultan más evidentes, la adopción de este sistema se había demorado debido a la producción esporádica, ya que el fundidor ambulante, que podía estar siempre seguro de encontrar arcilla local, no necesitaba por tanto añadir moldes al equipo que transportaba a su espalda.

Los toscos dibujos de las primeras acuñaciones medievales testimonian la ruptura de la continuidad con los finos grabados de la Roma imperial (p. 187). Hacia el 850 la acuñación de oro se había olvidado

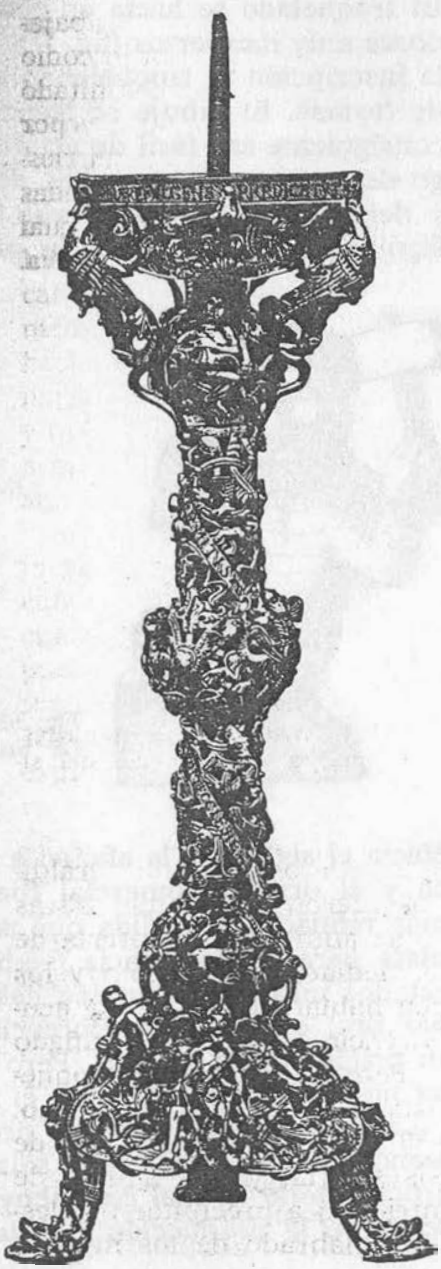


Fig. 50. Candelero de bronce dorado, de la Iglesia de San Pedro, Gloucester. Comienzos del siglo XII.

completamente en Europa occidental, y si bien todavía se contaba en libras de plata, los peniques de plata eran la única moneda occidental en circulación. El troquelado se hacía en cecas locales por trabajadores muy inexpertos (fig. 51), y tanto el dibujo como la inscripción se troquelaban en un número limitado de formas. El dibujo se hacía en bajorrelieve y por consiguiente era fácil de acuñar, y para evitar el riesgo de atravesarlas, muchas de las monedas grandes y delgadas se grababan sólo por una cara, lo cual significó un retroceso a la práctica más primitiva.

Fig. 51. Acuñación de monedas. De una talla normanda del siglo XII.

Hacia el siglo XIII la afición a la ostentación heráldica y el orgullo comercial fueron originando obras más refinadas a medida que aumentaba la oferta de plata para acuñar; hacia mediados del siglo XIV los estados más ricos también habían comenzado a acuñar oro, emulando a Florencia, que había acuñado su primer florín en 1252. Pero el grabado de troquelar no volvió a usarse hasta el Renacimiento italiano.

La Peste Negra (1348-50) provocó una escasez de mano de obra, una crisis salarial y una subida de precios, todo lo cual contribuyó a precipitar un descenso en la producción y el labrado de los metales

que duró hasta mediados del siglo siguiente. La Guerra de los Cien Años (1337-1453) fue otro factor que contribuyó a ello, al menos en Francia, y por lo general provocó el agotamiento de las minas más accesibles; con todo, en este período el labrado de metales adquirió la importancia particular que ha tenido, a través de la época moderna, para la fabricación de las armas de fuego. Aparte de la producción de armaduras ya mencionada, el herrero fue muy útil para el guerrero de la Edad Media, sobre todo por su habilidad en forjar hojas de espada cada vez de mayor calidad. Por otra parte, la principal contribución del metal al antiguo arte de la guerra fue la introducción, hacia 1370, de la ballesta de acero, arma extraordinariamente potente que se tensaba mecánicamente, y que no fue expulsada del campo de batalla por las armas de fuego manuales durante casi cien años, y aún se usaba para cazar a principios del siglo XVII.

Sin embargo, podemos cerrar esta relación de la metalurgia medieval refiriéndonos a la invención del cañón, que llegó a ser de uso común en el segundo cuarto del siglo XIV. Su antecedente inmediato bien puede haber sido un tubo de hierro con un pequeño fogón cerca del fondo, usado por los moros ya hacia 1250 para lanzar una carga de piedras mediante la explosión de una carga de una o dos libras de pólvora (p. 388). Al principio el cañón era muy pequeño, de sólo 10 a 20 kilos de peso, pero hacia mediados de siglo empezaron a fundirse en bronce, y posiblemente en cobre o latón. Entonces se empezaron a fabricar cañones de hierro forjado, tales como los que compró Ricardo II para la Torre de Londres, que podían pesar hasta 300 kilos; éstos se hacían con barras de hierro colocadas longitudinalmente alrededor de un macho y luego soldadas juntas: tras separar el macho del cañón, la boca de fuego se sujetaba con aros de hierro (fig. 52). Esto a su vez fue seguido, a principios del siglo XV, por la fundición de cañones de hierro en un molde, un proceso que se difundió desde Alemania occidental, a raíz de la elevación de

las temperaturas de los altos hornos (p. 197). Ya era evidente no sólo que la caballería feudal y los castillos de piedra estaban sentenciados a muerte, sino que los nacientes estados modernos, gracias a su confianza en la artillería, por no hablar de las más modernas armas de fuego manuales, tenían un interés directo en el progreso de la metalurgia.

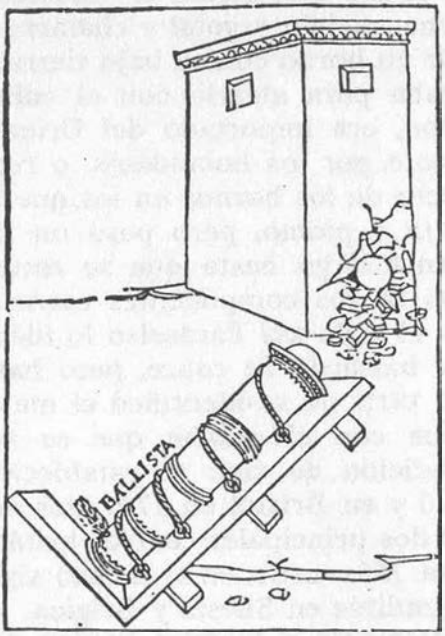


Fig. 52. Cañón del siglo XIV.

LA EXTENSION DEL USO DE LOS METALES, 1500-1750

Sin embargo, los primeros siglos de la historia moderna registran pocos cambios espectaculares en las técnicas metalúrgicas. Por el contrario, están marcados por el impacto del capital ascendente, que estimuló el empleo a gran escala de los métodos ya conocidos o prefigurados. Dos ejemplos tomados de la Alemania del siglo XVI son: el incremento de las existencias de plata mediante una aplicación más amplia del procedimiento de licuación de mineral de cobre,

que ya había sido practicado por los romanos (página 182), y la introducción de la fuerza hidráulica en las minas situadas a niveles altos mediante un sistema terrestre de bielas desde las ruedas situadas en el valle inferior (p. 373). Por otra parte, los alemanes llevaron su habilidad técnica a otros lugares de Europa: en el reinado de Isabel I comenzaron a extraer y fundir cobre en Keswick, de forma que antes de la Guerra Civil inglesa (durante la que los parlamentarios destruyeron sus edificaciones) había unos 4.000 extranjeros trabajando en las montañas del Lake District, en Inglaterra; y en 1623 comenzaron a explotar minas de plata a gran escala de Kongsberg, en las remotas soledades de Noruega. También en el Nuevo Mundo los antiguos procedimientos asumieron una nueva forma de vida, como, por ejemplo, cuando el descubrimiento de mercurio en Perú, hacia 1550, facilitó la extracción de la plata del Potosí por amalgamación (p. 182). También hubo un desarrollo significativo de la literatura descriptiva. La gran obra de Agrícola *De re metallica* (p. 188), publicada póstumamente en 1556, fue precedida por la *Pirotechnia* del italiano Biringuccio, y seguida, a un intervalo similar —menos de veinte años—, por el *Beschreibung allerfürnemsten mineralischen Ertzt- unnd Berckwercksarten*, del bohemio alemán Lazarus Ercker, que daba una información más detallada sobre el contraste de metales. Sin embargo, el hierro, si bien tenía por entonces una enorme importancia, recibe poca atención en estos libros, hasta que en 1722 Réaumur, en *L'art de convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoucir le fer fondu*, describió los procesos de fabricación del hierro.

Ciertos metales secundarios se hicieron más habituales en este período. Así la preparación del arsénico semimetálico fue descrita por primera vez de forma precisa en 1641, si bien, como ya hemos señalado, los egipcios habían hecho ya bronces con arsénico; éste se usaba, junto con el cobre y el estaño, en la fabricación de espejos metálicos. El antimonio se ex-

trae fácilmente de la estibina, su principal mineral, y era bien conocido en el mundo antiguo; era un ingrediente del bronce, pero durante largo tiempo no se le distinguió claramente del plomo. El bismuto se usó como metal de imprenta antes de 1500.

El plomo se usaba muy profusamente, no sólo como anteriormente en la construcción, sino en la fabricación de proyectiles (a menudo aleado con el arsénico), y tras 1670 en el forro de los barcos, donde producía el desagradable y entonces inexplicable efecto de corroer las piezas de hierro para sujetar el timón, tal como el cobre haría después. Hubo también un amplio uso del estaño en la fabricación de una gran variedad de pequeños artículos, y para el estañado de chapas de hierro para hacer hojalata, que fue originalmente un producto alemán, imitado primero, con algún éxito, en la Francia de Colbert. Sin embargo, en los primeros años del siglo XVIII se fabricó en Pontypool laminando barras de hierro al rojo de diversos grosores, ya que la hojalata era solicitada particularmente para envases de conservas y para otros utensilios de a bordo. El procedimiento británico consistía en sumergir las chapas en una solución de sales amónicas y luego en una infusión de salvado y agua; las chapas entonces se bañaban en estaño fundido (cubierto de aceite de ballena o sebo para prevenir la oxidación de la superficie), y las últimas irregularidades se eliminaban laminando en frío. El plomo o el estaño fundidos podían transformarse en chapas coladas echándolas sobre un lecho de arena; pero en el siglo XVII se fabricaban chapas de plomo más baratas y uniformes en los talleres de laminación. Excepto algunos usos de los metales preciosos —por ejemplo, para ciertas monedas o panes de oro—, el empleo principal de todos estos metales era la aleación.

Una aleación de estaño y plomo se usó para soldar, pero la aleación más importante era el peltre, siendo de mejor calidad el que tenía la proporción más elevada de estaño, con bronce y bismuto. Se moldeaba

fácilmente en moldes de arcilla o arena y los productos mejores se terminaban entonces con el martillo. Casi con certeza, la simplicidad de los procedimientos de moldeado influyeron para que los primeros impresores, que usaban moldes de piedra blanda o metal, prefirieran una calidad de peltre especial para sus tipos (p. 345).

A lo largo del Medievo y el Renacimiento el latón se siguió fabricando en crisoles que contenían calamina, carbón vegetal y chatarra de cobre, calentados por un horno cónico bajo tierra. El cinc que se necesitaba para alearlo con el cobre, a fin de obtener latón, era importado del Oriente Lejano, principalmente por los holandeses, o recogido como subproducto de los hornos en los que se fundía mineral de plata y plomo, pero pasó un tiempo sorprendentemente largo hasta que se reconoció en este metal uno de los componentes esenciales de la calamina. En el siglo XVI Paracelso lo identificó como una forma bastarda de cobre, pero hasta principios del siglo XVIII no se identificó el metal sacado de la calamina con el *calaëm* que se traía de Oriente. La fundición de cinc se estableció en Swansea hacia 1720 y en Bristol en 1740, dos ciudades que aún son los dos principales centros británicos de su manufactura. Más tarde, en el mismo siglo, también comenzó a fundirse en Silesia y Bélgica.

Alemania y Flandes habían sido los centros más importantes en la manufactura del latón, de donde llegaban, por ejemplo, las chapas de latón que adornaban las iglesias inglesas de la Alta Edad Media; la primera manufactura de latón se estableció en Inglaterra durante el reinado de Isabel I. A despecho de su tentadora similitud con el oro, el latón se usaba aún principalmente a pequeña escala: el libro de Biringuccio, en 1540, descubre una fundería de latón en Milán, donde podían hacerse 1.200 objetos pequeños con un solo molde, ejemplo interesante de una primera fabricación en serie. Otra forma de uso fue añadir un 5 por 100 de latón y un 8 por 100 de estaño

al cobre para fabricar bronce. El bronce se había usado durante mucho tiempo para fundiciones grandes, tales como estatuas y campanas, a las que el mundo moderno añadió los cañones (véase p. 219), ya que las aleaciones de cobre se corroían y rompían con menos facilidad que el hierro hasta entonces disponible. Para fundir las grandes masas de metal que se necesitaban se empleó, desde el siglo XVI en adelante, un horno de reverbero donde el calor se reflejaba en la bóveda, por lo que no había un contacto directo entre el combustible y el metal.

El cobre, junto con los metales preciosos y sus aleaciones, se usó ampliamente para la acuñación de monedas. La cantidad y la calidad de éstas llegó a ser tema de candente actualidad en el siglo XVI, cuando los españoles originaron una rápida subida del nivel de precios en toda Europa por la importación de cantidades sin precedentes de plata de las Indias Occidentales, Méjico y, en 1553, Perú. La disminución del contenido metálico de las monedas se convirtió en el recurso natural de los gobiernos que no podían pagar por más tiempo sus deudas con las rentas fijadas por la tradición. Por ejemplo, Enrique VIII redujo bruscamente el contenido de metal precioso en las monedas de oro y plata en los últimos veinte años de su reinado. Eduardo VI y María Tudor trataron de devolverles su valor, pero sobre Isabel I recayó la gran tarea de retirar de la circulación la moneda adulterada y organizar una reacuñación. Su éxito no resolvió el problema de las finanzas de la Corona, que se convertiría en una de las causas principales de la Guerra Civil, pero la nueva moneda inglesa de 1561 tenía un contenido real y estaba fabricada con destreza. Durante algún tiempo el tosco sistema de fabricación por martilleo fue sustituido por el uso de una prensa de husillo bajo la supervisión de un francés, Eloi Mestrell, antiguo empleado de la ceca de París; este sistema se abandonó tras su ejecución, acusado de falsificación en 1573. Aunque la prensa se impuso de modo general a mediados del siglo siguien-

te, se necesitaban dos hombres fuertes para manejarla.

Sin embargo, las monedas buenas contenían alguna aleación. En el caso de las coronas de oro alemanas, se consideraba razonable una proporción del 6 al 7 por 100 por lo menos en el caso de que el metal aleado se compusiese de dos partes de plata por una de cobre. La libra esterlina de plata de Isabel I, que estuvo en uso durante varios siglos, también tenía una aleación del 7,5 por 100. La moneda isabelina de plata más pequeña era el medio penique, pero en 1613 se introdujeron las monedas de cobre, que ya habían sido usadas en Irlanda en el siglo XV.

ULTERIORES AVANCES EN LA INDUSTRIA DEL HIERRO

Podemos ahora volver a fijar nuestra atención en el desarrollo de la industria del hierro, que al terminarse este período estaba comenzando su trascendental asociación con el carbón, asociación que determinaría el curso de la revolución industrial. Los tres factores dominantes fueron los siguientes. En el siglo XVI, tras un largo período en el que el precio del hierro varió poco, éste comenzó a encarecerse rápidamente. Al mismo tiempo las frecuentes guerras y los nuevos medios de emprenderlas incrementaron la demanda de hierro: Tilly, por ejemplo, gastó de 12.000 a 18.000 balas de cañón de hierro fundido al día durante los dos meses que duró el asedio de Magdeburgo en 1631. Tampoco era difícil, en una época en que la población aumentaba, emplear en tiempo de paz esta producción creciente de hierro, por ejemplo, en la fabricación de aperos agrícolas, planchas traseras para hornos, atizadores y baterías de cocina para la casa. Un tercer factor fue la creciente escasez de madera para fabricar carbón vegetal, con el consiguiente incremento del precio de este último, que provocó el desplazamiento de la industria de región en región e incluso de país en país, por lo que

hacia el siglo XVIII Suecia ostentaba un puesto predominante. Ello hizo que el interés se concentrara, especialmente en Gran Bretaña, en la posibilidad de reemplazar el carbón vegetal por hulla.

En primer lugar se logró una productividad más alta y una mayor economía de combustible mediante la conversión del *Stückofen* de la Baja Edad Media (p. 197) en un alto horno. Esto implicaba aumentar la altura del horno e incrementar la fuerza de las inyecciones de aire lo bastante como para elevar la temperatura a un punto en el que pudiera obtenerse una fundición licuada de hierro colado. El uso de ruedas hidráulicas resolvió el problema del aire, y hacia finales del siglo XVII ya era posible trabajar con hornos de más de nueve metros de alto. Un horno de esta clase podía ser alimentado continuamente por el tragante con mineral y combustible, y estar funcionando hasta cuarenta semanas seguidas. Fue esta fácil provisión de hierro colado lo que dio a Inglaterra durante un siglo un virtual monopolio sobre los cañones de hierro colado, desde la época de Enrique VIII, cuando, según la tradición,

> El maestro Hugget y su ayudante John fundieron el primer cañón.

hasta el surgimiento de la industria sueca en la Guerra de los Treinta Años. En 1682 el hierro colado se usó en las cañerías que unían Marly con Versalles; y poco después de 1700, el sueco Christopher Polhem, en sus diversas manufacturas de Stjärnsund, empleaba grandes cilindros de hierro colado como refuerzo de los pequeños cilindros de hierro forjado que gastaban menos fuerza hidráulica. A principios del siglo XVIII también se usaban en Suecia máquinas para cortar metales (fig. 53).

Pero la utilidad de los productos obtenidos con el *Stückofen* se veía seriamente menoscabada por su inutilidad como materia para el forjado. Aunque el alto horno conseguía reducir el total de impurezas

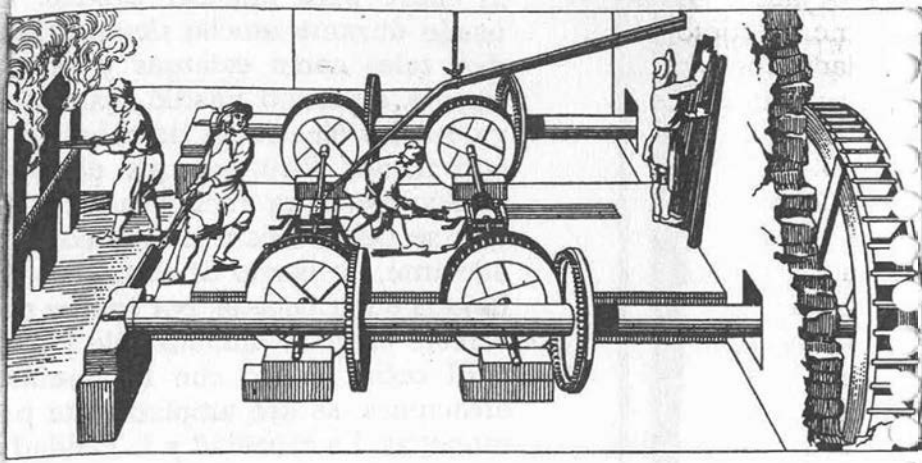


Fig. 53. Máquina para cortar metales movida por fuerza hidráulica. De Swedenborg. *Regnum subterraneum*, 1734.

del mineral, las altas temperaturas a las que trabajaba ocasionaban restos de sulfuro y fósforo en el producto final; la lupia obtenida según el antiguo procedimiento con temperaturas bajas era aún la preferida de los maestros forjadores. El hierro forjado continuó siendo utilizado de forma más extensiva que el hierro colado. Ahora podía mejorarse la labor de forja por medio de las trompas o *trompe*, invención italiana (*ca.* 1500) que reemplazaba los fuelles, haciendo que el aire entrara y saliera de un receptáculo cerrado mediante la succión de un chorro de agua. Las forjas de martinete solían estar impulsadas por ruedas hidráulicas para el martinete de palanca; las hileras, los molinos de muelas horizontales y las máquinas para cortar metales, que usaban las mismas fuentes de energía, facilitaban la obtención de hierro en barras y en alambre.

El acero continuó fabricándose según varios procedimientos, todos ellos a pequeña escala. Con frecuencia el herrero producía su propio acero para los aperos agrícolas, reduciendo un mineral adecuado en su forja. Un método común era forjar lupias de hierro

forjado que había sido previamente cementado sumergiéndolo en una fundición licuada de hierro colado con un alto contenido de carbono. También se cementaban barras de hierro forjado de más de un metro y medio de largo para obtener acero, calentándolas con carbón vegetal durante un lapso de tiempo que oscilaba entre cinco y siete días, en un horno similar al de los panaderos. Finalmente se fabricaba acero en crisoles, calentando hierro con carbón vegetal, método usado en la India para fabricar acero *wootz* (p. 184) que se conocía en Inglaterra en el siglo XVII, lanzado comercialmente en Occidente por Benjamin Huntsman, un relojero de Doncaster que se estableció cerca de Sheffield en 1751.

Como todos estos procedimientos requerían combustible, es fácil apreciar la importancia creciente del carbón en todo lo relacionado con la metalurgia. Su utilización para el labrado del hierro forjado en las herrerías no implicaba ningún problema técnico serio, e incluso es posible que en determinados distritos el carbón mineral se mezclase con el vegetal en la fragua, para producir herraduras y otros artículos sencillos de hierro, mucho antes de que se utilizase independientemente como combustible. En Inglaterra y Escocia hubo algún consumo de carbón en la Baja Edad Media, principalmente como combustible doméstico y especialmente en las proximidades de los afloramientos y otros yacimientos de fácil acceso. Pero en los Países Bajos se explotaron minas de carbón de bastante extensión con el fin específico de surtir a las industrias de acabado del hierro y de otros metales, que hicieron de Lieja en particular un gran centro de la armería, especialmente durante la primera mitad del siglo XVI. Fue en la segunda mitad de este siglo, durante el reinado de Isabel I, cuando la escasez de madera —que al parecer se intensificó como resultado de las rápidas ventas de las áreas boscosas al ser disueltos los monasterios—, a consecuencia del crecimiento de la población, la construcción de barcos y las necesida-

des industriales, dio un impulso a la minería del carbón en Tyneside y otros distritos de Inglaterra, Escocia y Gales. Se calcula que hacia 1660 estas regiones producían cinco veces más carbón que todo el resto del mundo; liderazgo que continuó, con pocas modificaciones, a lo largo del siglo XVIII.

La relación fundamental entre el liderazgo inglés en la minería del carbón y su ascendiente sobre el desarrollo de los transportes y la invención de una nueva fuente de energía será examinada en otra parte del libro. Ya hemos tenido ocasión de ver cómo las peculiaridades del nuevo combustible llevaron consigo el uso del crisol cerrado para fabricar vidrio (p. 162). Hubo un cierto número de industrias, incluyendo la obtención de sal por evaporación, la producción de alumbre, la de cal, la cocción de ladrillos y la elaboración de cerveza para las que la adopción del carbón como combustible no implicó ningún cambio fundamental, ya que el carbón únicamente proporcionaba el calor, pero no formaba parte del proceso propiamente dicho. Pero el hierro, incluso en mayor medida que el vidrio, presentaba un problema complicado y que no se resolvía tan rápidamente, pues en todas las etapas de su fabricación el carbón tendía a empeorar la calidad del producto. En 1614 fue descubierto (por dos ingleses) un procedimiento para usar carbón en la conversión de las barras de hierro en acero, y hacia esa época se mezclaba comúnmente un poco de carbón mineral al vegetal para forjar barras de hierro. Durante casi otros cien años no se realizó ningún avance relacionado con el uso del carbón en los importantísimos altos hornos, excepto indirectamente, a través de un problema que surgió en la fabricación de cerveza.

Se descubrió que cuando los cerveceros usaban el carbón —que ya era el combustible común en las fábricas de cerveza para calentar el mosto antes de la fermentación— para secar la malta, el carbón estropeaba el gusto de la cerveza; la principal razón de esto, como ahora sabemos, era la presencia de sulfu-

ro. Pero hacia la época de la Guerra Civil los cerveceros de Derbyshire, donde se podía encontrar una clase especial de carbón antracitoso, tuvieron la idea de carbonizar éste para hacer coque, tal como se hacía al carbonizar la madera para fabricar carbón vegetal. Los resultados fueron la malta secada con coque y la famosa cerveza de Derbyshire, cuyo sistema de preparación suponemos que despertaría el interés del fabricante de hierro que la bebiera. Sin embargo, cuando el siglo XVII terminó el problema del hierro seguía siendo insoluble en apariencia, aunque hacia esta época los hornos de reverbero habían permitido utilizar carbón directamente para fundir mineral de plomo, y se había introducido una mezcla de carbón mineral y vegetal para fundir cobre. Según nuestros conocimientos, el primer experimento con éxito fue llevado a cabo por Abraham Darby —a quien fue muy útil su aprendizaje en un molino de malta— en Coalbrookdale, Shropshire, en 1709. Pero el empleo del coque en el alto horno, que nos parece un descubrimiento tardío, no fue aceptado en el ramo con rapidez: en los cincuenta años siguientes sólo se construyeron en Gran Bretaña otros seis hornos de coque. Probablemente esto se debió a que la familia cuáquera de Coalbrookdale no hizo público un secreto del que sacaba algún beneficio, pero quizá el factor principal consistió en una falta de interés entre sus rivales: a lo que también pudo ayudar el hecho de que no podían obtenerse los resultados apetecidos sin una cuidadosa selección del tipo de mineral y del carbón a utilizar, así como el avance bastante lento que tuvo la utilización del carbón como combustible para otros propósitos. Mientras estuvieron utilizando carbón vegetal en grandes cantidades en el proceso adicional de transformar la fundición bruta en barras de hierro, los fabricantes de hierro fueron reacios a abandonar las zonas boscosas en las que ya estaban establecidos por otras en donde el carbón tuviese un fácil acceso. En 1748 Abraham Darby II comenzó a estudiar seriamente la forma de hacer un

hierro colado adecuado para la fragua: lo consiguió mediante una cuidadosa selección de minerales con un contenido muy bajo de fósforo. De esta forma, finalmente, llegó a implantarse la fundición de hierro a base de coque, acontecimiento que abrió una nueva fase en la larga historia de la metalurgia.

EL ARMAMENTO

Aunque en los escritos de David Hume de 1750 se reivindicaban los cañones de hierro colado, junto con la construcción de barcos, como la gran especialidad de los fabricantes ingleses, las armas bélicas, consideradas en conjunto, ilustran con claridad el empleo que Europa daba a su dominio de la metalurgia. Casi hasta 1700 la principal arma de la infantería era la pica, una punta de acero montada en un asta que podía llegar a medir hasta cinco metros y medio de longitud, por lo que constituía una eficaz protección contra la caballería. Este arma fue sustituida por la bayoneta, empleada por primera vez por los mosqueteros de Luis XIV. La espada que llevaban los piqueros para la lucha cuerpo a cuerpo pudo así ser desechada entre los soldados rasos, pero continuó usándose como el arma ideal para el ataque (y el duelo) de los oficiales. En este momento el arma más común para la caballería era el sable, diseñado para poder dar tajos golpeando hacia abajo; existía también una versión más ligera y más corta de la lanza de la caballería medieval. Es quizá un signo del papel escasamente importante que desempeñaban ya entonces tales armas, al menos en las guerras entre los países civilizados, el hecho de que el acero con que se fabricaban era sin duda de calidad inferior, en término medio, a los mejores productos de épocas anteriores, cuando debía tenerse gran cuidado para que un metal no resultara defectuoso, pues ello podía significar un desastre.

Sin embargo, lo primero que debe destacarse de

las primeras armas de fuego de mano es que eran poco precisas, ya que estaban diseñadas tan sólo para el combate a pequeña distancia y en orden cerrado; lo que impulsó a los armeros a mejorarlas fue la demanda popular de piezas deportivas superiores. Dejando a un lado la caja, que era cosa del carpintero, la fabricación de un arma de fuego aceptable requería medios suficientes para poder construir un cañón bastante preciso y un mecanismo de cierre para disparar la carga. Los cañones solían hacerse corrientemente con tiras de hierro. Se utilizaban dos procedimientos: en uno de ellos se enrollaba una única tira de hierro alrededor de un cilindro, para después ser soldada por sus bordes; en el segundo procedimiento se enrollaban algunas tiras cortas en forma de tubos, soldándose luego unas a otras. La ventaja de este procedimiento consistía en que así el metal podía afilarse fácilmente hacia la boca del arma, donde no era necesaria relativamente tanta solidez. En ambos casos el cañón, formado tan rudimentariamente, era calibrado posteriormente con una broca que giraba al final de una larga barra, que se introducía gradualmente en el interior del cañón; hacia el siglo XVIII estas máquinas estaban generalmente accionadas por fuerza hidráulica (fig. 54). No se sabe cómo fue descubierta la importancia del estriado helicoidal de los cañones: la experiencia pudo demostrar que el proyectil, al girar, tiene una trayectoria más larga y precisa. Sin embargo, en fecha tan tardía como mediados del siglo XVIII, un escritor de la gran *Encyclopédie* francesa estimaba aún que el objeto de estriar el ánima de los cañones era tan sólo el de proporcionar un mayor ajuste a la bala, pero no el de hacerla girar, pese a que los principios físicos de la rotación de los proyectiles habían sido expuestos ya por B. Robins en la Royal Society en 1747. De cualquier modo, el fusil era ampliamente conocido ya hacia 1525, y había sido puesto en circulación medio siglo antes, a juzgar por los informes de los armeros de Turín y Nuremberg. Parece ser que no fue usado

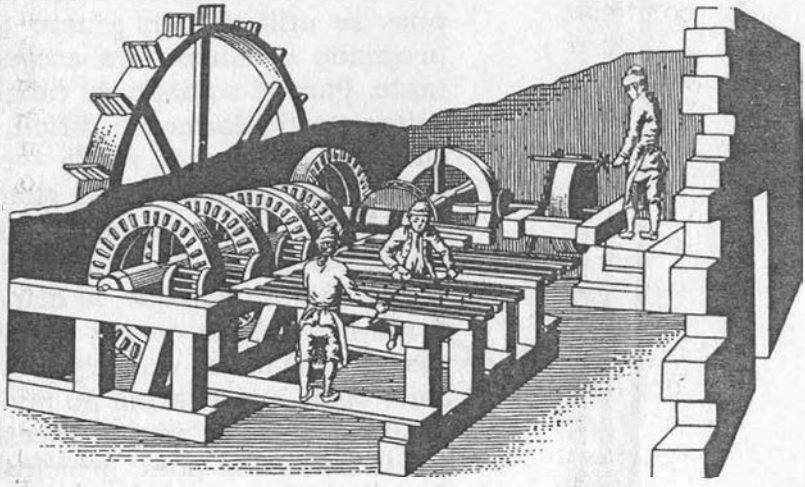


Fig. 54. Maquinaria movida por fuerza hidráulica para calibrar bocas de fuego de cañones.

con fines militares hasta la Guerra de los Treinta Años; su empleo se extendió principalmente entre los deportistas adinerados, que podían permitirse el lujo de pagar por la precisión, cualidad que en cambio tenía menor importancia para los soldados que luchaban en orden cerrado y que disparaban a corta distancia. La dificultad existente para cargar el cañón estriado por la boca fue resuelta mediante el uso de una bala de plomo un poco grande para el ánima: de esta forma, amartillándola con una baqueta, la bala podía encajarse exactamente en el rayado. Pero este era, necesariamente, un procedimiento lento, lo que impedía su uso militar.

Las primeras armas de fuego manuales se disparaban aplicando una mecha lenta a un fogón situado en el cañón, hasta inflamar una pequeña cantidad de polvorín colocada en la cazoleta. La llave de mecha que la reemplazó poseía un brazo que, al oprimirse el gatillo, acercaba la mecha al cebo; pero aun así el disparo dependía de que se mantuviese encendida la mecha, lo que no siempre se conseguía fácilmente

en las condiciones existentes en el campo de batalla, pues se utilizaba un grueso trozo de bramante impregnado de nitro para asegurar una ignición constante. Para el soldado de caballería esto debía de resultar particularmente difícil, lo cual es una razón para que la llave de rueda —considerada un invento italiano de la época de las guerras franco-italianas de 1494-1559— resultase un invento útil para las pistolas de arzón. En éstas se usaba un pie de gato para arrollar un muelle que, al dispararse, hacía girar una rueda con rebaba contra un trozo de pirita; las chispas así originadas descargaban el cebo. Pero el enrollado hacía que el arma no pudiese ser disparada dos veces seguidas en rápida sucesión, por lo que su uso quedó confinado pues, principalmente, a los soldados de caballería, que podían disparar una vez y después tenían tiempo de cargar de nuevo. Este procedimiento tuvo rivales importantes, desde 1580, en el *snaphance* holandés y en la llave española, que sobrevivió hasta la época de la Guerra de la Independencia española, donde se la conocía como miquelete. El siguiente cambio decisivo fue la introducción de la llave de chispa, perfeccionada en 1630 en Francia. El pedernal se traía hacia atrás (se amartillaba) y, al apretar el gatillo, sufría el empuje de un fuerte muelle que le hacía chocar contra un rastrillo acerado situado sobre la cazoleta, en la que caían las chispas. El mecanismo era más fuerte que el de la llave de rueda y podía ser disparado con mayor rapidez. La llave de chispa fue esencial para el nuevo deporte francés de disparar a los pájaros al vuelo, pero en un principio se consideró que para la infantería era demasiado lujo. En 1660 Luis XIV dotó a su ejército de fusiles de chispa; en Inglaterra el cambio se puso en marcha durante la Revolución de 1688. El Brown Bess fue dotado de una llave de chispa perfeccionada; este arma, de cuatro kilos y medio de peso y metro y medio de longitud, estuvo en servicio en el ejército británico desde Blenheim a Waterloo. La pólvora fulminante, patentada en 1807 por el clérigo escocés

A. J. Forsyth, condujo finalmente a su sustitución (p. 729), aunque todavía pueden verse fusiles de chispa en ciertas regiones de Africa, hacia donde continúa exportándose el pedernal de Norfolk, donde se halla lo que en cierto sentido es la industria británica más antigua.

El modelo de cañón utilizado en el siglo XVI y en los siguientes era de ánima lisa, se cargaba por la boca y se fundía en bronce, latón o hierro. El hierro era más barato, pero el bronce era más estimado por ser menos propenso a la corrosión o a las explosiones. El perfeccionamiento de los altos hornos permitió obtener grandes cantidades de hierro colado, pero durante tres siglos el método general continuó siendo el mismo que se había utilizado para la fabricación de los grandes cañones de bronce, uno de los cuales, que pesaba casi 90 toneladas, fue empleado por los turcos contra Constantinopla durante el asedio de 1453. A mayor escala fue, como hemos visto, la continuación del arte de los campaneros medievales.

La fundición de cañones implicaba tres procesos distintos. El primero consistía en la fabricación de un molde de arcilla en tres partes. Una de éstas era la reproducción exacta del exterior del cañón, incluyendo sus adornos y los muñones sobre los que había de girar; el segundo era el molde de la culata, y el tercero el del ánima, con el espacio que debía ocupar la boca de fuego. Luego, el molde de arcilla se reforzaba con barras de hierro, se armaba, se cocía y se enterraba en una fosa. El segundo proceso consistía en llenar el molde dentro de la fosa, sangrando un horno de metal fundido; para extraer la pieza debía romperse el molde, lo que significaba que los cañones habían de hacerse uno a uno. El tercer proceso consistía en la calibración, necesaria porque la colada no proporcionaba la precisión suficiente. Esta calibración se llevaba a cabo con una broca montada sobre una barra larga, movida por lo general por una rueda hidráulica, apoyada tan sólo por uno de los

extremos, método poco apropiado, incapaz de corregir cualquier defecto de alineación del ánima en el molde original, y que incluso podía agravarlo. Los holandeses generalizaron, hacia 1747, la práctica de calibrar bocas de fuego de hierro fundido macizo. En Inglaterra este adelanto hubo de aguardar a la invención de la máquina de calibrar de Wilkinson (p. 509).

A mediados del siglo XVIII se produjo un importante incremento en la utilización de la artillería, cuando el cañón de campaña hizo valer, por fin, sus méritos; pero mucho antes, en tiempos de Marlborough, la guerra basada en la utilización de fortificaciones había dependido del montaje, muy lento, de pesadas baterías de asedio. Sin embargo, el impacto de la artillería en las batallas navales resultó aún más decisivo. En lugar de basarse en el empleo de las tácticas inmemoriales del abordaje y del espoloneo, el éxito en las batallas navales pasó a depender del alcance de los disparos que se podían hacer contra las líneas enemigas. Así, la maestría de los fundidores en la consecución de cañones cada vez más pesados desempeñó un considerable papel en estos intercambios de andanadas, que determinaron el destino de Europa con tanta frecuencia desde los tiempos de Ruyter hasta los de Nelson.

Ciertos términos, como llave de mecha y llave de chispa, nos recuerdan que el oficio de armero se hallaba estrechamente asociado con el de cerrajero, el cual se remonta a la más remota antigüedad. El oficio de cerrajero se había consolidado ya notablemente en los tiempos de Roma (fig. 55). Una vez que el hombre comenzó a tener un hogar permanente y a adquirir posesiones personales hubo de dirigir necesariamente la atención hacia la preservación de sus objetos de valor ante el temor al robo. Se han encontrado cerraduras accionadas por medio de tumbadores con contrapeso en los sarcófagos de momias egipcias del 2000 a.C., pero no se preveía la reapertura de las cerraduras que custodiaban las pertenen-

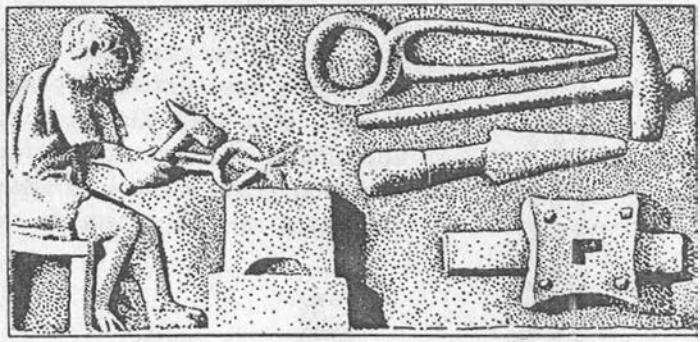


Fig. 55. Cerrajero romano en su trabajo. Siglo II d. C.

cias del difunto. Un joyero del 1350 a.C. lleva una cerradura simple, la cual, por medio de la rotación de una perilla, permitía que un travesaño engranase en una muesca. Sin embargo, para determinadas cosas, tales como la salvaguardia de los tesoros, los antiguos egipcios confiaron más al parecer en los sellos —cuya ruptura entrañaba severas sanciones— que en las cerraduras.

La llamada cerradura egipcia apareció mucho después con los Tolomeos. En ésta se usaba una llave de hierro con una serie de púas que formaban ángulo recto con el travesaño (fig. 56) para alzar los tumba-

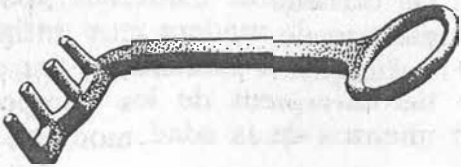


Fig. 56. Llave egipcia de hierro del siglo III o II a. C.

dores. Se conoce una cerradura semejante, de madera, pero provista también de una llave de metal (fig. 57), procedente del monasterio de Epifanio, en Tebas, y que data del 800 d.C. aproximadamente. Puesto que este tipo de cerradura se utiliza aún en las casas egipcias humildes, puede deducirse que ha gozado de una historia ininterrumpida de unos dos

milenios. Sin embargo, la cerradura común actual parece haber derivado de otras fuentes: los tumbadores de las cerraduras medievales estaban dispuestos en una sola fila, y el paletón de la llave que los levantaba se unía directamente al astil en vez de hacerlo al travesaño. Las llaves egipcias que han llegado hasta nosotros son de metal, y en realidad no hu-

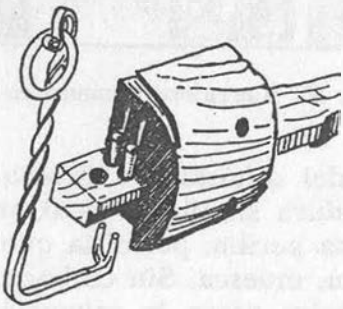


Fig. 57. Cerradura y llave «egipcias». De Tebas. Hacia el 800 d. C.

bieran podido hacerse fácilmente de madera; el tipo moderno de llave, por el contrario, podía hacerse fácilmente de madera, y se han hallado ejemplares de este tipo en lugares tan alejados entre sí como las islas Feroe (fig. 58), las islas griegas, Zanzíbar, China y la India. Una muestra de tan escasa importancia como es ésta no es incompatible con la tesis de que las cerraduras modernas provienen de un prototipo asiático de madera muy antiguo.

Aunque el mecanismo fue en un principio simple, los cerrajeros de los tiempos medievales y de comienzos de la edad moderna —que fabricaban tam-

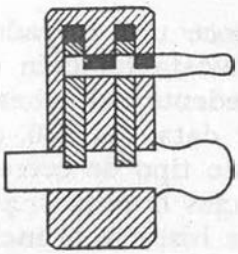


Fig. 58. Cerradura primitiva de madera. Islas Feroe.

bién aldabas, mangos y herrajes ornamentales, como los necesarios para las arcas y las gavetas— produjeron algunos mecanismos elegantes y cajas muy complicadas. Enrique VIII, por ejemplo, poseía una cerradura de 0,35 × 0,20 metros adornada con las armas reales, que, al parecer, se atornillaba a la puerta de su dormitorio, a donde quiera que fuese. La fabricación de cerraduras para puertas, candados (invento del siglo xv) y cerraduras para armarios se hallaba en la Inglaterra isabelina concentrada en tres ciudades de Staffordshire, si bien continuó siendo una industria fundamentalmente artesanal casi hasta 1900. Sin embargo, los cerrajeros modernos introdujeron una serie de mejoras a fin de hacer más difícil la tarea de las ganzúas. Primero se introdujeron chapas giratorias, las cuales debían ser alineadas por la llave para poder correr el cerrojo, y después, como ocurría en la cerradura de Robert Barron (1778), los extremos de los tumbadores se labraban para que engranaran en el paletón de la llave. Los logros obtenidos al respecto por Bramah se mencionan en otro lugar del libro (p. 510), pero las dos innovaciones que tuvieron mayor influencia fueron la de Jeremiah Chubb, que patentó en 1818 una cerradura de palanca, a partir de la cual se desarrolló una gran manufactura inglesa (véase fig. 165), y —en la siguiente generación— la del estadounidense Linus Yale. Separando el mecanismo de la cerradura en sí, Yale inventó la cerradura de cilindro: reaparecieron así las púas de las cerraduras egipcias en las cinco muescas de la llave yale, que se corta automáticamente a ocho profundidades diferentes con una fresadora, pudiendo dar 32.768 variantes.

LA FABRICACION DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA

La creciente maestría alcanzada en el labrado de los metales queda de manifiesto en la creciente maestría de los fabricantes de instrumentos de medida.

Hacemos referencia en otro lugar a muchos de los primeros artículos producidos por ellos —por ejemplo, los relojes (p. 325), los instrumentos de navegación (p. 297) y las balanzas (p. 319)—. Aquí vamos a considerar tan sólo las líneas generales de su evolución. Habremos de restringirnos, además, a algunos instrumentos de directa aplicación práctica a la tecnología: la fabricación de instrumentos científicos es, por supuesto, de extrema importancia —hacia 1776 existen media docena de ejemplos de fabricantes de instrumentos de medida que se convierten en miembros de la Royal Society—, pero sólo influyeron en la tecnología en la medida en que las investigaciones a las que se dedicaron hallaron una aplicación práctica. Los principales compradores de tales instrumentos, en el período que nos ocupa, fueron los navegantes, los artilleros y los topógrafos.

La tradición moderna en la fabricación de instrumentos de medida data aproximadamente de mediados del siglo XV, cuando Nuremberg se convirtió en el primer gran centro de esta especialidad en Europa occidental: los artesanos heredaron poco de la tradición medieval, sin que por ello dejase de sentirse la influencia de la época alejandrina. La tradición de los científicos alejandrinos —que culminó en Tolomeo, con su detallada relación en el *Almagesto* de los instrumentos existentes en su época— no se transmitió al Imperio bizantino, y siendo lentamente recuperada a partir de sus herederos más genuinos, los astrónomos del Islam. La fabricación de instrumentos astronómicos gozó de un renacimiento temporal en Oxford (fig. 59) y en París en el siglo XIV, pero el oficio no llegó a consolidarse de forma permanente hasta 1440; todavía existen tres instrumentos astronómicos adquiridos en Nuremberg en 1444.

Quizá, originariamente, Nuremberg debió su arte de fabricar instrumentos de medida al hecho de que estaba situada sobre la gran ruta comercial que iba de Italia a los Países Bajos y de que era ya un centro reputado por su labrado del metal; pero su impor-

tancia se debe, ciertamente, a que Johann Müller (Regiomontano), el pionero de la astronomía moderna, se estableció en esta ciudad en 1471. Poco tiempo después también Augsburgo tuvo una famosa escuela de fabricantes de instrumentos de este tipo. Muchos de los instrumentos fabricados en estas dos ciudades muestran una destreza tan exquisita que hoy en día son valorados no sólo por su interés técnico, sino también como obras de arte. El oficio pasó luego de Alemania a Lovaina, y hubo también alguna

Fig. 59. Richard de Wallingford (m. 1335), dividiendo un círculo astronómico. De un manuscrito del siglo XIV.

actividad al respecto en Italia, pero los acontecimientos políticos de la Europa continental hicieron que Londres se convirtiese, durante varias generaciones, en el más importante centro mundial de fabricación de instrumentos de medida. La devastación de los Países Bajos durante el «Terror español» provocó el eclipse de Lovaina y la Guerra de los Treinta Años el de las ciudades alemanas, lo que condujo a la virtual extinción del oficio en estas regiones.

Las técnicas alemanas habían sido llevadas a Inglaterra a principios del siglo XVI por el artesano bávaro Nicholas Kratzer, algunos de cuyos instrumentos aparecen en la conocida pintura de Holbein

«Los embajadores franceses», y por Thomas Gemini, proveniente de las proximidades de Lieja, que llevó consigo una técnica altamente desarrollada para el grabado en latón. Innovación oportuna esta última, puesto que las chapas de latón comenzaban a ser accesibles en Inglaterra por primera vez gracias a la Elizabethan Mineral and Battery Works. Entre los accionistas de esta empresa se contaba Humfray Cole, discípulo de Gemini, que fue el primer experto inglés en la fabricación de instrumentos de medida. Cole se estableció por su cuenta en Londres como fabricante de «escalas, compases y toda clase de instrumentos geométricos de metal». Entre sus clientes se contaban Drake y Frobisher: para este último fabricó todos los instrumentos que llevaría en su primer viaje en busca del paso del noroeste en 1576. Cole fue el iniciador de una larga serie de prestigiosos fabricantes londinenses de instrumentos de medida, de los que hubo hasta treinta antes de 1650. El aumento de la demanda y la exigencia de una mayor exactitud condujo a que se insistiese más en el buen funcionamiento que en la ornamentación: hacia comienzos del siglo XVIII se había abandonado ya la exquisitez de los modelos de las primeras generaciones, excepto en el caso de modelos a presentar en alguna ocasión especial, y los instrumentos científicos comenzaron a asumir la apariencia severamente práctica que tienen hoy día. Al mismo tiempo el oficio comenzó a descentralizarse de forma creciente: los fabricantes de instrumentos para la navegación se establecieron en los puertos principales y los que aprovisionaban a los artilleros tendieron a hacerlo cerca de las fábricas de armamento.

El latón, el marfil y las maderas compactas tales como el boj y el peral fueron los principales materiales empleados por los fabricantes, siendo el latón cada vez más estimado por su rigidez y durabilidad. El torno fue un instrumento altamente valioso para labrar el metal (p. 151), y los relojeros en particular lo perfeccionaron mucho para los trabajos de preci-

sión. El grabado de escalas fue, por supuesto, una parte muy importante del trabajo: hasta que no surgieron los instrumentos mecánicos aquél se efectuaba con simples herramientas de grabar y punzones, realizando antes el dibujo con ayuda de métodos geométricos.

Los primeros artículos de los fabricantes de instrumentos de medida estaban destinados principalmente a fines astronómicos o a la aplicación de las técnicas astronómicas a la navegación: entre estos últimos se contaban el astrolabio, la ballestilla, el cuadrante, el cuadrante solar, el planetario, e instrumentos geométricos básicos como el compás y la regla. Sin embargo, a partir del siglo XVII comienza a aparecer una gran variedad de instrumentos nuevos o de versiones muy perfeccionadas de los antiguos. Las necesidades de los agrimensores condujeron a la fabricación del podómetro —instrumento atribuido a Vitruvio, pero que con toda probabilidad no fue utilizado en los tiempos antiguos—, que servía para medir distancias terrestres mediante el recuen-

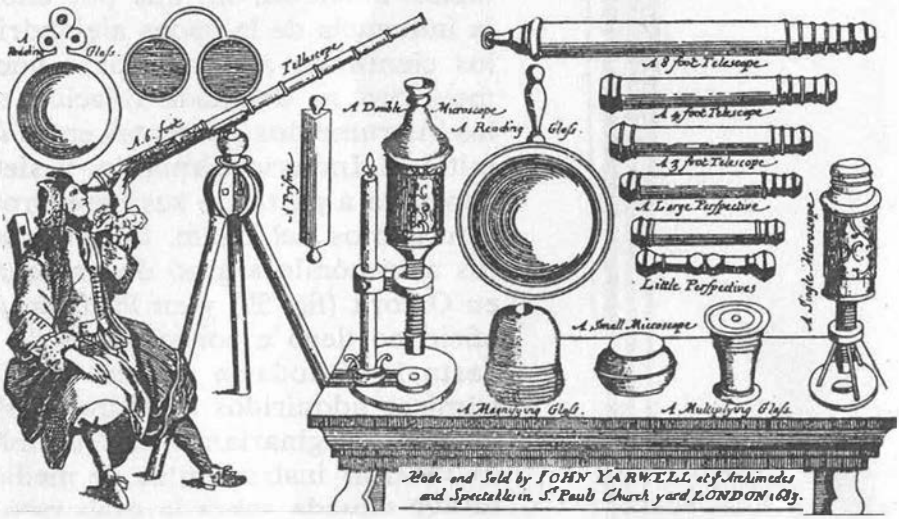


Fig. 60. Tarjeta comercial de un fabricante de instrumentos de medida. Londres, 1683.

to del número de revoluciones efectuadas por una rueda al ser impulsada. Los perfeccionamientos realizados en el campo de la artillería exigían una puntería más certera en el cañón (ver fig. 10), y hacia comienzos del siglo XVII el nivel de la artillería se había desarrollado mucho. Las invenciones del telescopio y del microscopio (p. 165) trajeron consigo nuevos problemas tanto en lo referente a la fabricación de lentes como a la de los instrumentos sobre los que éstas iban montadas: los nuevos instrumentos se convirtieron en un artículo normal de los fabricantes de instrumentos de medida desde 1660 (fig. 60). A partir de 1700, gracias a la revolución científica, los fabricantes de instrumentos de medida vieron aumentar la demanda y pronto comenzaron a solicitarse en número creciente bombas neumáticas, termómetros, barómetros, aparatos eléctricos y otros instrumentos.

5. LA CONSTRUCCION

LOS ANTIGUOS IMPERIOS

El hecho más conocido acerca de los hombres del Paleolítico es que frecuentemente vivían en cuevas; y cuando no las encontraban improvisaban un equivalente. Existen pinturas murales (discutidas) que muestran ligeras chozas de ramas para el verano y restos verdaderos de las más sólidas viviendas de invierno de los cazadores de mamuts en Rusia, Siberia y Checoslovaquia. Estas viviendas podrían describirse como cuevas de imitación, ya que el nivel del suelo está nada menos que a tres metros bajo tierra. Pueden identificarse en ellas los hogares, y se supone que el material usado para los techos era la madera, cubierta quizá con tierra, aunque es tentador imaginar que los huesos de mamut que se hallan desparramados alrededor desempeñaron un papel en su construcción, del mismo modo que fueron usados los huesos de ballena en el lejano norte. En el Mesolítico es raro encontrar, como en Dinamarca, un pueblo que ocupara todo el año sus viviendas semihundidas; aún más raro es hallar, como en Hannover, una choza que estuviera enteramente por encima de tierra. El verdadero progreso tecnológico tuvo que esperar al asentamiento del hombre del Neolítico, aunque en el antiguo Egipto existió un tipo de casa de madera, hecha de tablones imbricados unidos con cuero, que podía ser desmontada y vuelta a montar en el desierto durante la inundación anual.

Desde el Neolítico en adelante, los europeos, como era de esperar, construyeron casas y pueblos enteros de madera, tales como las llamadas aldeas lacustres, que se levantaron sobre estacas para asegurar su per-

manente protección contra el agua o como precaución contra las inundaciones estacionales. Las bajas chozas de piedra de Skara Brae, en las Orcadas, con sus enseres también de piedra, constituyen una excepción apropiada a aquellas islas sin árboles, barridas por el viento. Los artesanos de Stonehenge, en la Edad del Bronce, hacia mediados del segundo milenio a.C., ajustaban sus enormes trilitos con la técnica de caja y espiga de los carpinteros: es posible que hubiera también una construcción ritual en madera, tanto en Inglaterra como en otras regiones, de la que los constructores de Stonehenge pudieran haber tomado su modelo. Al principio de la Edad del Hierro, por otra parte, no sólo eran de madera las aldeas lacustres como Glastonbury y Meare. Las fortalezas de las colinas tenían revestimientos de madera y empalizadas, y las chozas que había dentro de ellas —incluso ya a finales del siglo I a.C.— tenían los techos sostenidos por soportes de madera.

El Oriente Próximo, por el contrario, tenía menos madera, aunque en cambio tenía cañas y hojas de palma, pero desde el principio del Neolítico —antes del uso de la cerámica cocida— los aldeanos del este del Tigris construían sus casas con arcilla seca, y en Jericó hay ejemplos de muros de adobe, uno de ellos acanalado para recibir traviesas de madera. En los climas secos tales edificios debían durar bastante. En la extensa llanura aluvial de Mesopotamia la arcilla siguió siendo la materia prima para la construcción durante seis mil años; el valle del Nilo, en cambio, tenía piedra, pero ésta estaba monopolizada por el Estado, y la arcilla fue el material de construcción del pueblo. Hubo también edificios de arcilla en Asia Menor, aunque allí había abundancia de madera y de piedra, y también los hubo en la arbolada isla de Creta. Así, la arcilla apisonada, su sucesor natural, el adobe, y su sucesor artificial, el ladrillo cocido, desempeñaron un papel muy importante en la historia de los Imperios primitivos.

La arcilla se preparaba añadiendo agua y apisonán-

dola con paja cortada o estiércol para impedir alabeos o agrietamientos; con este material se formaban los ladrillos, generalmente dos a la vez, en un molde rectangular de madera sin tapa ni fondo, y después se dejaban secar dándoles la vuelta de vez en cuando. Se usaba la misma mezcla de arcilla, añadiéndole más agua, para el mortero y para el enlucido. En lo que respecta a la construcción, el horno empezó a usarse originariamente para fines especiales, tales como la fabricación de pavimentos, y cuando se necesitaba que el ladrillo fuera impermeable; en Egipto no se usó en absoluto hasta los tiempos clásicos. En Mesopotamia, tanto la forma como el método de colocación de los ladrillos fueron completamente diferentes de los que llegaron a ser habituales más tarde. La superficie de arriba era convexa, como la parte superior de un pan, y los ladrillos se colocaban de pie formando un pequeño ángulo; hiladas alternas se inclinaban en direcciones opuestas, haciendo el efecto de una espina de pez, tal como puede hallarse hoy a veces en los muros de piedra del oeste de Inglaterra.

En las llanuras de Mesopotamia la construcción de ladrillo alcanzó su punto culminante en los lugares de culto conocidos como *ziggurats*, alrededor del año 2000 a.C. Estas enormes torres escalonadas hacían frente a los efectos del fraguado y asentamiento —normalmente no usaban ningún tipo de cimentación— por medio de hiladas de estera de cañas que atravesaban las fachadas a intervalos. En Ur, donde el *ziggurat* (fig. 61) era de 70 metros de largo y 55 de

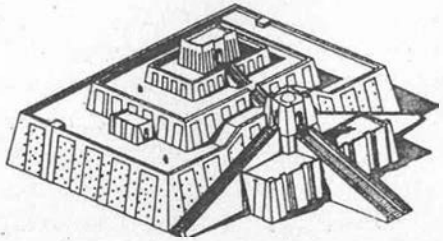


Fig. 61. Reconstrucción de un *ziggurat* en Ur. Alrededor del año 2000 a. C.

ancho, con una altura de 27 metros, el revestimiento, de 2,5 metros, estaba compuesto de ladrillo cocido en horno y recibido con betún (asfalto): Estrabón indica que en el Eufrates superior, en Hit, podían encontrarse abundantes bloques de betún en el río. En aquella época ya se usaban las bóvedas, tanto la falsa bóveda con hiladas en voladizo, utilizada en la construcción con grava de piedra caliza de las pequeñas cámaras de enterramiento, como la bóveda verdadera que corona las entradas a través de los muros.

Ulteriores desarrollos en Mesopotamia tuvieron que esperar a la introducción de la piedra por los asirios del norte, pero en Egipto, al empezar el tercer milenio a.C., hallamos edificios, empezando por la famosa pirámide escalonada de Zoser, que muestran las artes conexas del cantero y del albañil ya en avanzado grado de desarrollo. Para obtener los bloques de piedra se abrían túneles ascendentes desde la cara de un acantilado, de varios cientos de metros si era necesario. Agazapado en un nicho profundo abierto exactamente debajo del techo del estrato en el que se quería trabajar, un hombre delineaba bloques en el fondo de este hueco, los cortaba en la profundidad de una hilada y luego los partía introduciendo cuñas de madera que debían ser mojadas para que se dilataran. El hueco se ampliaba gradualmente recortando la roca en escalones. Todo esto se hacía, al parecer, con un pico de cantero, si bien es más asombroso todavía el hecho de que bloques de hasta mil toneladas fueran trasladados desde la cantera al sitio de la construcción sin utilizar ruedas: palancas, narrias, rodillos, cuerdas y un despiadado gasto de esfuerzo humano transportaban el material a y desde la vía fluvial del Nilo (véase fig. 111).

Tanto los bloques pequeños, usados en tiempo del rey Zoser, como la mampostería de bloques más grandes de las dinastías posteriores fueron escuadradas y labradas a mano con cincel, maceta, niveleta (para enderezar) y escuadra de albañil (fig. 62). Según Heródoto, el trabajo total requerido para la Gran

Pirámide, construida unos ciento cincuenta años después que la de Zoser, fue equivalente a siete días y medio de trabajo por cada 28 decímetros cúbicos de mampostería, lo que teniendo en cuenta la extracción de la piedra y su transporte puede que no constituya una absurda exageración. Es 45 metros más alta que la catedral de San Pablo, y aunque ocupa más de cinco hectáreas, sólo se desvía de un cuadrado perfecto en menos de dos centímetros en longitud y doce segundos en ángulo. El método de construcción por sucesivos acrecentamientos, cada uno con su propio revestimiento de piedra caliza, produce un resultado final admirable.

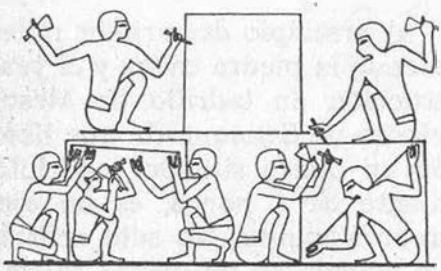


Fig. 62. El labrado de la piedra. De una tumba en Tebas, Egipto. Alrededor del año 1450 antes de Cristo.

Los templos egipcios, por otra parte, como carecían de bóveda, estuvieron limitados durante largo tiempo a un espacio de unos tres metros entre columnas, que era la máxima distancia que podía salvar sin peligro un bloque de piedra caliza; pero la introducción de la arenisca de Silsila triplicó eventualmente esa distancia. Otro problema que resolvieron los egipcios fue el de juntar tres arquitrabes a fin de que descansaran sobre la parte superior de una sola columna. Las mismas columnas muchas veces constaban de una serie de cilindros, como, por ejemplo, en el gran templo de Kárnak, donde se emplearon varios bloques para construir un solo capitel, tan enorme es la escala: los cimientos, sin embargo, como en muchas estructuras egipcias, eran débiles y descuidados, como se reveló en 1899 cuando se desplomaron once columnas. No obstante, la humanidad

no ha cesado de impresionarse por las realizaciones de los egipcios en la construcción: sus obeliscos, los muros y techos de sus templos y, por encima de todo, la extraordinaria precisión de las pirámides, planeadas al parecer con muy poca ayuda de la teoría matemática (fig. 63).

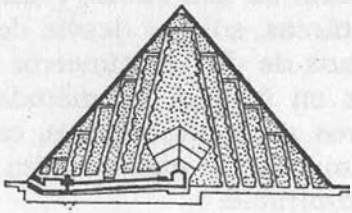


Fig. 63. Sección norte-sur de la pirámide de Sahure. 2400 antes de Cristo, aproximadamente.

Al principio del primer milenio a.C. se fueron añadiendo la piedra caliza y el yeso a la tradicional construcción en ladrillo de Mesopotamia. El canal de piedra de Senaquerib, que llevaba agua a Nínive desde un punto situado a 80 kilómetros, con una pendiente de 1 por 8, es un ejemplo particularmente impresionante. No sólo cruzaba un ancho valle por un acueducto de piedra caliza de 275 metros de largo, sino que el pavimento de piedra estaba nivelado con exactitud desde el principio hasta el fin, al parecer para que los bloques de las sucesivas secciones pudieran ser transportados sobre ruedas o rodillos a lo largo del propio canal desde la cantera a su cabecera. La estructura estaba impermeabilizada con betún. De los colosos con figura de toro de 20 toneladas con que los reyes asirios se complacían en decorar las puertas de sus palacios, sabemos solamente que la talla se terminaba en el lugar de su emplazamiento definitivo, después de haber sido arrastrados al mismo sobre enormes narrias, pero parece claro que primero eran llevados a flote Tigris abajo. La mayoría de los edificios eran todavía de ladrillo, y los arcos se empleaban para hacer bóvedas de ladrillo, en las cuales cada semicírculo sucesivo de ladrillos se inclinaba ligeramente hacia atrás, de modo que no se ne-

cesitaba ninguna armadura temporal de madera como cimbra. El uso de ladrillos vidriados alcanzó su punto culminante en Babilonia, en donde las figuras sobre la puerta de Ištar (fig. 64) fueron modeladas de este modo en un panel de arcilla, que después era dividido en ladrillos, vidriado y cocido. Lo que resulta más notable es que estas figuras se repiten sobre los muros de la puerta y de la calle bajo tierra, donde sólo los ojos del arqueólogo moderno llegarían a mirarlas alguna vez, circunstancia extraordinaria porque en Mesopotamia, como en Egipto, la calidad y espesor de los cimientos eran, para las pautas modernas, uno de los rasgos más débiles de su edificación.

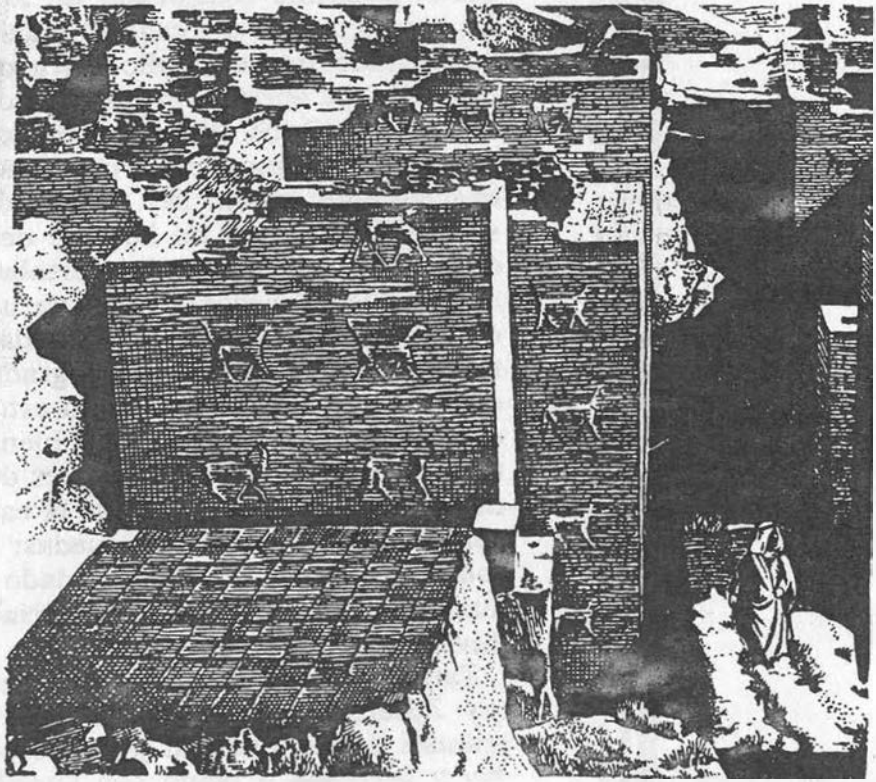


Fig. 64. Cimientos de la puerta de Istar, Babilonia. Siglo VI antes de Cristo.

Puesto que los hititas no han dejado en sus ruinas ningún rasgo estructural importante que no pueda hallarse en otra parte, podemos volver a Creta. Hay algo extrañamente moderno en la apariencia de sus casas de dos o incluso de tres pisos, de las que tenemos ejemplares que datan del año 1700 a.C., aproximadamente, y aun en los planos de sus palacios de Cnosos y Festos, destinados a múltiples actividades; éstos estaban sin fortificar, como era propio de una potencia naval, y en general eran versiones más complejas de sus casas particulares. Los cretenses hacían la parte inferior de sus muros de grava de piedra y la superior de ladrillos secados al sol; pilares de piedra sostenían el primer piso, pero la armadura era de madera. A las habitaciones interiores, dotadas de claraboyas, se accedía a través de claustros con columnas; el uso de las habitaciones altas y de las azoteas terraplenadas dio por primera vez a las escaleras un sitio en la arquitectura doméstica. Cuartos de baño, evacuatorios que se limpiaban con un chorro de agua, cañerías de terracota e ingeniosas cloacas inclinadas, a cuyo diseño proporcionó el impulso necesario un clima lluvioso, anuncian igualmente la civilización posterior de Europa y América.

Los centros de la civilización micénica en el continente, tales como Tirinto y Troya, tuvieron sus palacios rodeados necesariamente de murallas fortificadas. El propio palacio de Tirinto, por ejemplo, tenía todas sus habitaciones principales en un solo piso, en el que la luz penetraba a través de altas ventanas. Hay unidades reconocibles que constan de una entrada con porche, dormitorio y sala con columnas que contenía un hogar encendido permanentemente, el foco del hogar europeo. Los tejados a dos aguas constituían otro rasgo común con los hogares domésticos. Pero las grandes tumbas «colmena» —cúpulas puntiagudas de piedra construidas con hiladas horizontales salientes en un pozo cilíndrico subterráneo, con acceso por una puerta muy ornamentada con un arco volado encima (fig. 65)— son importantes, no

porque anunciaran las griegas futuras, con todo lo que ello había de significar para Europa, sino porque excitaron la imaginación griega con cuadros de un pasado oscuramente comprendido. Nuestro propio Stonehenge en su forma acabada probablemente data de casi el mismo período y puede incluso haber sido influido por el estilo micénico, pues un puñal de la Edad del Bronce esculpido sobre uno de los monolitos recuerda el tipo micénico (p. 25). Aquí, además, es imposible evitar la sensación de misterio que rodea a una maravilla técnica (la traída de los bloques de 40 toneladas, algunos desde una distancia de 240 kilómetros, su labrado, su erección) que se aparta de todo desarrollo tecnológico continuo.

Fig. 65. Ruinas de una entrada. Micenas.

Entra más en nuestros propósitos mencionar los orígenes de los puentes, canales y carreteras. Las civilizaciones primitivas usaron en su mayor parte vados, puentes de barcas temporales o puentes de madera que se han borrado incluso de la memoria. Pero hubo un puente de 11 metros de ancho en el palacio de Minos; y se atribuía a Nabucodonosor la construcción de una estructura de madera que descansaba sobre más de cien pilares de ladrillo y unía las dos partes de Babilonia a través del Eufrates. Contemporáneo del gran acueducto de Senaquerib (p. 234), hubo un canal subterráneo de 20 kilómetros,

con 2,7 metros de ancho, excepto a la entrada, construido para suministrar agua a Erbil, la ciudad-templo de Istar. En cuanto a carreteras, Heródoto considera la construcción de la carretera empedrada por la que se transportaba el material para la Gran Pirámide como «una obra no muy inferior a la pirámide misma». Tanto las ciudades egipcias como las mesopotámicas estaban pavimentadas con losas grandes, y en Creta y otras regiones bajo la influencia de Minos se pueden hallar cortas extensiones de carretera pavimentada. Pero no se conoce ninguna ruta procesional anterior a la que hicieron los hititas alrededor del 1200 a.C. en su capital de Bogazkoy; vienen luego las de los asirios y babilonios, teniendo Babilonia un Camino Sagrado construido a gran altura encima de la llanura, pavimentado con losas de piedra cuadradas, rojas y blancas, de aproximadamente un metro cuadrado cada una. Las carreteras de los imperios primitivos, sin embargo, eran rutas hechas por el uso y mejoradas por algún motivo, como se describe en las metáforas de un profeta hebreo del siglo VI: «Abrid una calzada a Yavé en el desierto... que se allanen las cuestas y se nivelen los declives» (Isaías 40,3-4).

LA CONSTRUCCION EN GRECIA Y ROMA

La construcción de griegos y romanos, como su literatura, forma parte de la herencia estética común de Europa. La concepción sistemática de la ciudad, por ejemplo, generalmente sobre el modelo de «parrilla», empezó con Hipódamo de Mileto, que reformó el Pireo, y floreció en el Egipto alejandrino, donde los griegos asimilaron la tradición de los antiguos Imperios. Desde nuestro punto de vista, sin embargo, estamos más informados sobre Roma que sobre Grecia, pues, con la honorable excepción de Heródoto, los grandes escritores griegos mostraron poco interés por el modo en que se producían las glorias de

su arquitectura. Nuestro conocimiento de la forma griega de explotación de las canteras procede, ciertamente, de un griego, Pausanias, pero un griego que vivió en el siglo II d.C. Para los detalles de los métodos de construcción dependemos en gran parte de Vitruvio, un arquitecto, ingeniero militar y escritor romano del reinado de Augusto.

La arquitectura griega, con toda su grandeza, no tiene sus orígenes en los grandes edificios del Oriente Próximo ni aun siquiera en las tumbas micénicas en forma de cúpula, sino en la casa de madera de tipo europeo, con tres habitaciones y un hogar. Los templos griegos más antiguos eran de ladrillo, con techo de madera cubierto de paja; para conseguir la mayor anchura posible, se ponía en el centro una fila de postes para sostener las vigas transversales, y con el mismo fin se insertaban igualmente en los muros de ladrillo diversas filas de postes. Tales fueron los humildes comienzos de la arquitectura arquitrabada de la época de Pericles: las columnas de los tres órdenes clásicos derivan de estructuras de madera.

En la edad micénica se usó la dura piedra caliza de Argos. Los arquitectos clásicos utilizaron una variedad diferente de piedra, procedente del oeste y norte del Peloponeso, que tenía una superficie apropiada para el enlucido con fino estuco (de piedra caliza calcinada) al que se daba después una mano de color. Pero el mármol usado para los grandes edificios públicos de Atenas venía de las cercanas canteras del monte Pentélico, del que se obtenían bloques rectangulares cincelando un surco alrededor de cada uno y arrancándolos luego con cuñas. Este mármol pentélico tenía un fino grano compacto y una blancura láctea a la que los indicios de hierro que contenía le añadían una preciosa pátina dorada cuando llevaba mucho tiempo expuesto a la intemperie; como también proporcionaba excelentes junturas y se pulimentaba fácilmente, resultaba evidentemente superior a la piedra caliza estucada. A los griegos, a diferencia de los romanos, no les gustaba el már-

mol brillantemente coloreado: el pario, muy usado en escultura, era blanco; el naxio, gris. El mármol inferior de Himeto y las enormes canteras de piedra caliza de Siracusa no se utilizaron completamente hasta el siglo III a.C., aunque las últimas, que tenían una superficie rocosa de 27 metros de altura y más de 1,5 kilómetro de longitud, fueron el escenario, algo antes, de la cautividad ateniense inmortalizada por Tucídides.

La arquitectura arquitrabada fue posible porque las vigas y dinteles de piedra caliza y mármol podían tener hasta 4,5 metros de largo. Las columnas se construían con piedras cilíndricas, como en Egipto, colocadas con pequeños pernos que encajaban en alvéolos hechos en el centro. En el Partenón las columnas tenían hasta dos metros de diámetro; se levantaban utilizando pequeños salientes de mármol que después se descantillaban; y se subían a la Acrópolis en carretas tiradas por treinta o cuarenta bueyes. Cuando se usaban piedras blandas los fustes se modelaban a veces en un torno. Pulimentando entre sí los bloques se conseguía un perfecto ajuste. Sin embargo, se usaban abrazaderas de varios metales, incluso hierro, y un hecho notable lo constituyó el empleo de vigas de hierro forjado —por ejemplo, en el Partenón, donde se utilizaron en el frontón como modillones para sostener las estatuas más pesadas—. Los tejados de débil pendiente de estos grandes edificios tenían una armadura de madera (que no se conserva) que soportaba las tejas de terracota o mármol. Antes de terminar el siglo VI, Corinto estaba en condiciones de suministrar tejas para obras de reparación, tejas que iban numeradas según su correcta posición en el tejado del templo.

La contribución de los romanos a la construcción realmente es triple. Adoptaron y adaptaron la obra de los griegos, embelleciendo su ciudad e Imperio con templos y otros edificios públicos que aparentemente constituían una imitación más bien florida de lo griego. En segundo lugar se apropiaron y desarro-

llaron el uso del arco, que había permitido a los etruscos, un milenio antes del Imperio romano, construir, por ejemplo, un puente de siete metros de bloques cuneiformes sin mortero. En tercer lugar consagraron los cuatro siglos de su Imperio en Occidente a vastos programas de obras públicas, con lo que puede decirse que empiezan las modernas tradiciones de la ingeniería civil y militar.

La Roma de Augusto no fue construida con mármol, pero el mármol se usó para el adorno y el acabado de las obras, hasta el punto que cobró importancia como producto de importación y como producto de la misma Italia. Los puros mármoles blancos de Carrara son todavía los más famosos del mundo; entre los importados adquirió un prestigio peculiar el pórfido imperial de Egipto, extraído por primera vez bajo el emperador Claudio y retenido como propiedad imperial porque su color era el genuino de la púrpura imperial. Otras dos piedras locales usadas en Roma fueron el travertino, con el que se construyeron los viejos muros de las catacumbas y muchos del Coliseo —la piedra de éste vino principalmente de Tívoli—, y una dura roca basáltica usada para pavimentar algunas de las carreteras que salían de la ciudad. Pero los romanos, naturalmente, también trabajaron la piedra en el resto del Imperio, desde Baalbek, en Siria —donde Antonino Pío en el siglo II d.C. había utilizado en un templo tres bloques de piedra que medían 19 × 4 × 3 metros, lo que aún constituye un récord para cualquier edificación—, hasta la piedra arenisca del Muro de Adriano. Se puede afirmar que difícilmente existe una piedra inglesa de construcción que no hayan usado los romanos: emplearon piedra de Bath de un lugar tan lejano como Colchester.

Para la explotación de las canteras los romanos usaron también cuñas, que metían en profundas ranuras cinceladas y luego saturaban de agua para originar presión por la hinchazón. Eran particularmente hábiles en la terminación de la piedra en la cantera:

en la famosa torre multiangular de York las piedras romanas sobreviven por esta razón en mucho mejores condiciones que las más fuertes piedras colocadas en el mismo lugar un milenio después. Para tallar se usaban sierras de cobre afiladas con arena y esmeril, aunque a muchas piedras se les daba forma golpeándolas con bolas de piedra. En la última fase del Imperio existían en el Mosela sierras impulsadas por agua, según describe el *Mosella* de Ausonio.

Volviendo a los tiempos de Augusto, debemos observar que los romanos trabajaron otros materiales además de la piedra. En esta época llegaron a ser muy utilizados los ladrillos cocidos en horno, siendo los mayores de unos 60 centímetros de lado y un grosor normal de 4 centímetros. Aunque generalmente recubiertos de una capa exterior de argamasa o mármol, los ladrillos se usaban como paramento de los muros de mampostería y sílex. Sin embargo, la propia Roma se construyó principalmente con hormigón. Los romanos tuvieron la suerte de disponer de una tierra volcánica llamada *puzolana* que mezclada con cal formaba un cemento que resistía el agua y el fuego. Mezclada con ladrillo o piedra formaba un hormigón tan duro como éstos. Este hormigón se empleó no sólo para cimentaciones y muros, vaciados en encofrados de madera, sino también para hacer bóvedas y cúpulas; y su uso entre arcos y nervios de ladrillo sirvió en particular para reducir el peso de las estructuras abovedadas.

Un arco de piedras cuneiformes, como requiere poco mortero, puede extenderse y formar una bóveda con sólo añadir material y una armadura de madera como cimbra durante la construcción. El resultado, sin embargo, no sólo era sombrío, sino también peligroso, a causa de la presión exterior sobre los muros en que descansaba la bóveda. Por eso los romanos construyeron bóvedas de aristas para sostener los muros, haciendo posible así una luz como la del palacio de Diocleciano de 30 metros. El mismo problema de la presión exterior se les presentó (a ellos

y a sus sucesores) en las cúpulas, que figuran entre sus mayores triunfos arquitectónicos. Estas se diseñaban principalmente para edificaciones de jardín o para las termas, tales como las Termas de Caracalla, cuyo diámetro era de 35 metros; en esta estructura se emplearon también vigas de hierro en forma de T, al parecer para un suelo de entramado. Pero la mayor cúpula romana adornaba un templo, el Panteón (años 110-125 d.C.), que tiene un diámetro interno de 43 metros, cuya cúpula —cuya composición precisa y su modo de construcción constituyen todavía un misterio— descansaba sobre un muro de hormigón reforzado por un sistema de arcos empotrados de ladrillo. Este magnífico edificio, que ha servido en tiempos modernos como mausoleo real, tenía puertas de bronce y un tejado de doradas tejas también de bronce. Las tejas, usualmente de terracota, fueron también importantes no sólo como material para techar, sino para la construcción de los famosos hipocaustos, habitaciones que se solaban usualmente con grandes tejas cuadradas de unos 60 centímetros de lado. En un tipo de hipocausto se usaban tejas pequeñas para las columnas a través de las cuales subía el calor, y tanto si éste circulaba por este método como si lo hacía por canales bajo el suelo, escapaba finalmente por unos tubos hechos con tejas y puestos en los muros.

La opinión popular que admira las realizaciones de los romanos en materia de comunicaciones, ingeniería hidráulica y fortificaciones está ciertamente justificada. Sin embargo, puede que no sea la construcción de puertos el único caso en el que los logros de las civilizaciones mediterráneas anteriores fueron oscurecidos por los romanos hasta un punto que nos es difícil juzgar. Así el antiguo canal egipcio hasta el mar Rojo (restaurado por Tolomeo Filadelfo en el año 285 a.C.), aunque usado por los emperadores romanos, atrae poco la atención si lo comparamos con la gran red de calzadas romanas; y lo que las calzadas romanas puedan deber a anteriores ideas etrus-

cas es algo bastante ignorado. Como los griegos apenas poseyeron buenas carreteras hasta los tiempos romanos, su contribución en este aspecto se limita a los caminos de rodadas (fig. 66), aunque incluso existen algunos ejemplos de éstos anteriores en Malta. Estos caminos tienen una profundidad, anchura y distancia entre rodadas bastante regulares, corren a menudo a través de trincheras poco profundas y se encuentran especialmente en los pocos sitios donde hay adoquines. Visibles sobre todo en las rutas de peregrinación y en la carretera de Delfos, fueron un medio para facilitar el paso del tráfico rodado, que reaparece muchos siglos después en los accesos a las minas y canteras.

Fig. 66. Camino griego de rodadas con ramal lateral.

La construcción de las grandes calzadas romanas representó un proceso mucho más arduo. Así un poeta contemporáneo, Estacio, da la siguiente descripción de las obras de la nueva calzada del emperador Domiciano que unía Campania con Roma:

La primera tarea es empezar las zanjas y abrir el camino, y luego, profundizando, excavar la tierra. Después se rellena el foso abierto con otros materiales y se prepara un recubrimiento sobre el que puede colocarse la capa de afirmado, para que no se hunda la tierra o ésta, malévola, forme un

lecho inseguro a los bloques apisonados. Luego, con piedras de bordillo muy próximas a ambos lados y con muchas grapas, se afianza la calzada.

La referencia al foso es un recordatorio de que en Italia, a diferencia, por ejemplo, de Inglaterra, las carreteras no se terraplenaban por encima de la tierra circundante. En Italia, además, las calzadas eran menos rectas que cuando se trazaban en territorio recién conquistado, y se pavimentaban con adoquines en tramos más largos. Pero las calzadas de grava de unos seis metros de ancho, que es el tipo que se suele encontrar en las provincias romanas, excepto cerca de ciudades importantes, conservaban los rasgos esenciales de buen drenaje y generoso espesor. Los romanos tenían instrumento de levantamiento de planos para calcular ángulos y medir distancias, pero no sabemos a ciencia cierta cómo consiguieron un *tour de force* como el alineamiento de la calle Stane al llegar a Chichester desde el punto en que deja el Támesis, justo al este del Puente de Londres.

Lo que se dice de las calzadas se puede decir de las calles. La Grecia clásica fue en este aspecto inferior a Cnosos: un sitio de reunión podía a veces ser «acondicionado con enormes piedras profundamente hincadas en la tierra», como lo pinta Homero, pero las calles que conducían a él eran estrechas, fangosas, sin pavimentar y sin desagüe. Los romanos tenían pavimentos de losas de basalto desde tiempos remotos, y desaguaban las calles por alcantarillas, que imitaron de la práctica etrusca. Bajo el Imperio se trazaron nuevas colonias y ciudades generalmente a escuadra y las alturas de los edificios se restringieron al equivalente de cinco pisos. Pero las calles continuaron siendo estrechas, para nuestras normas, con el fin de conseguir mejor protección contra el viento, que se creía era portador tanto de enfermedades como de lluvia.

Las calzadas romanas atravesaban a veces trincheras abiertas en la roca e incluso túneles, pero lo más

destacado de su ingeniería, aparte del propio lecho de las calzadas, fueron los puentes, esenciales para una red de comunicaciones rápidas a través de Europa. Los más antiguos fueron de madera, y los ingenieros militares siguieron usando superestructuras de madera en las provincias distantes, como en el famoso puente de Trajano, cerca de las Puertas de Hierro, sobre el Danubio (fig. 67), con el que se cree que tiene un gran parecido su contemporáneo puente de Londres. Pero el rasgo característico fue el arco semicircular, con una luz que oscilaba entre 5 y 20 metros; en la Vía Flaminia, al norte de Roma, hubo uno con una luz de más de 30 metros. El material usual eran grandes bloques de piedra o (después) ladrillo con un núcleo de hormigón, construyéndose los pilares con cemento de *puzolana* tras vaciar el interior de un apretado anillo de pilotes guarnecidos de hierro. A menudo construían tajamares salientes aguas arriba de los pilares para reducir la erosión

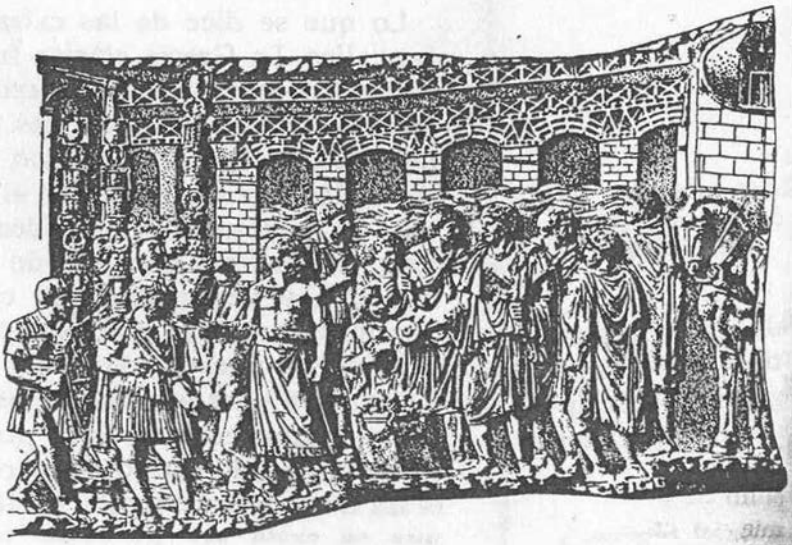


Fig. 67. Puente de Trajano, de veinte pilares, cerca del Orsova. Año 99. De un relieve en la Columna de Trajano.

producida por el agua, y se levantaban diques de tierra donde eran necesarios para construir los accesos. Un puente aún en uso, que en tiempos soportó la marcha de las legiones es el más vívido recordatorio de la obra romana unificadora del mundo europeo: el puente sobre el Marecchia, en Rímini, construido en el siglo I d.C.

Por razones de necesidad, los imperios del Oriente Próximo habían desarrollado grandes obras de conducción de agua. Los griegos fueron sus imitadores, y Heródoto, que creía que el acueducto de Samos era una de las tres mayores hazañas de la construcción griega, hizo que su diseñador, Eupalinos de Megara, del siglo VI a.C., fuera el primer ingeniero hidráulico cuyo nombre figura en la historia. Sin embargo, el acueducto en cuestión iba en sus dos tercios por un túnel, y el túnel, perforado simultáneamente desde cada extremo, quedó originariamente unos cinco metros fuera de alineamiento en el centro. Los griegos sobresalieron ante todo en los inventos mecánicos. Por ejemplo, adoptaron el principio del sifón para llevar agua en tuberías por encima de las alturas interpuestas: en el siglo II a.C., en Pérgamo, la máxima presión se acercaba a 21 kilos por centímetro cuadrado, y se hacía subir el suministro 150 metros hasta la ciudadela. El genio de Arquímedes puede no haber originado el tornillo que lleva su nombre (p. 181), pero fuentes árabes lo asocian con mediciones topográficas y presas en Egipto, y un mecánico griego bastante posterior, Ctesibio, es asociado con el invento de una bomba de presión.

Pero los romanos, que difundieron la vida urbana tan ampliamente, y basaron tanto sus lugares de diversión en un pródigo suministro de agua —se ha estimado que la Roma imperial recibía más de un millón de metros cúbicos al día, mucho de los cuales se llevaban a las casas particulares por tuberías normalizadas de plomo—, fueron tan constructores de acueductos como la Inglaterra victoriana lo fue de los viaductos ferroviarios, que muy a menudo se les

parecen. La misma ciudad de Roma fue con el tiempo abastecida por al menos una docena de acueductos, en gran parte subterráneos, excepto las últimas diez millas a través de la llanura, en donde se deseaba mantener la altura para la distribución. La construcción de un solo acueducto por el emperador Claudio implicó el transporte de 40.000 vagonetas de toba anualmente durante catorce años. En las provincias los acueductos atraviesan con frecuencia profundos valles, como en Nîmes, donde el puente de Gard, de 274 metros de largo (fig. 68), tiene una altura máxi-

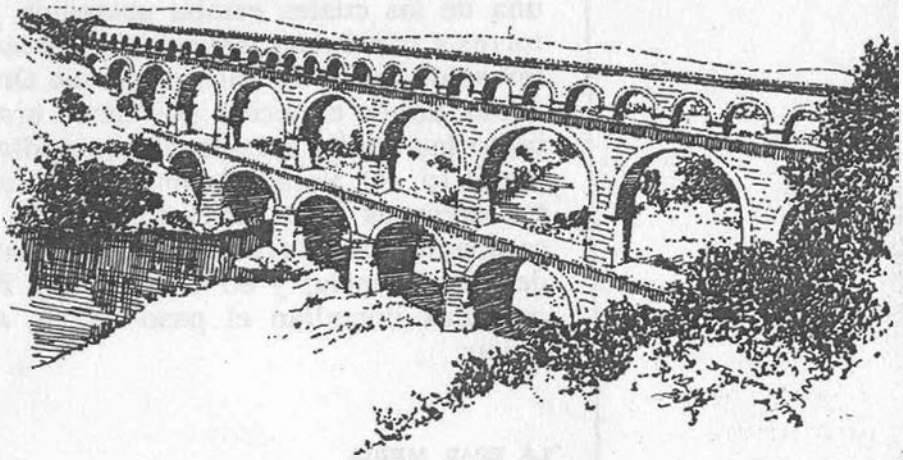


Fig. 68. Acueducto romano cerca de Nîmes. Siglo I d. C.

ma de 32 metros, y en Segovia, en España, cuyo acueducto-puente, de 800 metros de longitud, aún lleva agua. De los varios acueductos menores construidos en Inglaterra, quizá el más interesante fue uno de 13 kilómetros de largo que suministraba agua para lavar oro en Carmarthenshire. Los romanos también excavaron canales a través de toda Europa, desde el Po al Cam, para mejorar el drenaje de los ríos y con menos frecuencia para la navegación como principal objetivo, como en el caso del canal Rin-Mosa, de 37 kilómetros, que eliminó el viaje por mar. En relación con este tipo de construcción, su hazaña

más espectacular, sin embargo, fue el drenaje del lago Fucino, que añadió 20.000 hectáreas a las tierras del emperador Claudio en una hondonada de los Apeninos. Para esto abrieron un túnel de 5,5 kilómetros a través de los montañas, récord que no ha sido sobrepasado hasta 1876.

Los trabajos portuarios más antiguos que se conocen son los de Tiro y Sidón; también en Cartago, antes de que lo tomaran los romanos, existieron instalaciones muy impresionantes: «Había dos columnas jónicas enfrente de cada muelle —escribe Apiano—, dando la apariencia de un pórtico continuo al puerto y a la isla.» Atenas tuvo en El Pireo un gran muelle, que fue usado por barcos mercantes de 51 metros de longitud, pero lo más sorprendente fueron las gradas de lanzamiento de los barcos de guerra; tenían rampas elevadas y techos con columnatas, y podían acomodar 372 barcos. Una realización griega todavía más espectacular fue el gran faro de Alejandría, construido hacia el año 280 a.C., que tenía más de 76 metros de altura y que con la ayuda de espejos de metal bruñido despedía un destello, procedente de un fuego de madera resinosa, que era fama se veía a más de 50 kilómetros. Esta estructura de la isla de Faros dio origen tanto a un nombre genérico como a la forma escalonada común a otros faros del mundo antiguo.

El puerto artificial de Roma, el Portus Romanus, se desplegó sobre un lugar contiguo a los arenales de Ostia en la época de los primeros emperadores. Su puerto interior de seis lados tenía una profundidad de 4 a 5 metros y una anchura de 800 metros, con muelles de hormigón y ladrillo, y un fondo de bloques de piedra dura para facilitar el dragado. En Leptis, final de las rutas de caravanas del Sahara, a unos 100 kilómetros al este de Trípoli, los muelles de grandes bloques de piedra caliza estaban bordeados de almacenes con columnatas, alguno de los cuales tenían una plataforma saliente justo encima del nivel del agua para mantener a los barcos separados

del costado del muelle. En ambos casos se habían construido al lado del mar dos grandes malecones como protección, con el faro en el extremo de uno de ellos. Hay restos de grandes rompeolas en otros puertos italianos, como Puteoli, el principal puerto de Roma; y en un lugar tan lejano como el Paso de Calais, los romanos construyeron al menos tres faros: dos en Dover, de los que subsiste uno, y una estructura muy famosa de doce pisos en Boulogne (fig. 69).

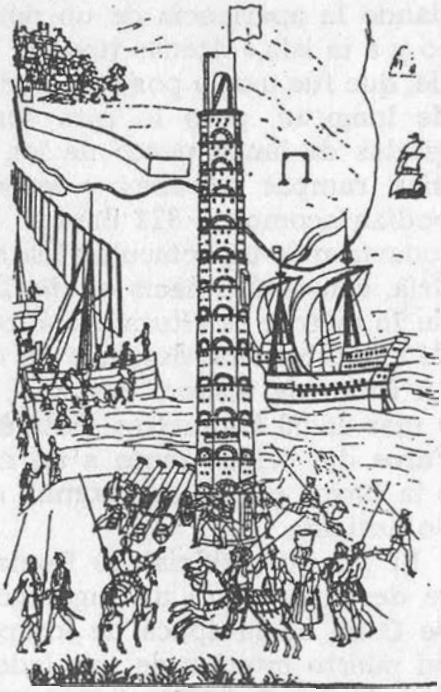


Fig. 69. Faro en Boulogne. De una pintura mural inglesa del siglo XVI.

El conjunto de muros de piedra en seco de Troya, cuyos fragmentos subsistentes son casi con seguridad anteriores a la famosa ciudad de Príamo, es un recordatorio de que las fortificaciones tienen una historia más antigua que las ciudades. Los períodos clásico y helenístico en Grecia vieron la sustitución general de la madera y el ladrillo en las defensas por

la piedra, el uso de trincheras para mantener a distancia a los arqueros sitiadores y el aumento de la práctica de minar los muros con galerías subterráneas de madera que se hundían cuando los sitiadores prendían fuego al maderaje de sustentación. Los romanos, que tenían a su disposición la organizada mano de obra de las legiones y el trabajo dirigido de los pueblos recientemente conquistados, construyeron fortificaciones muy complejas, de modo que el enemigo sólo podía entrar en una ciudad importante tomando varias líneas sucesivas de murallas, cada una de las cuales estaba protegida por formidables torres y trincheras. Este sistema alcanzó quizá su culminación en la capital romana de Oriente, Constantinopla, donde el acceso por tierra era limitado, y por tanto las triples fortificaciones podían ser más complejas (p. 44). Pero los romanos no construyeron fuertes defensas sólo alrededor de sus ciudades; cada campamento se fortificaba en proporción a su grado de permanencia; y en Germania y Britania grandes murallas impedían el paso de río a río y de mar a mar.

LA EDAD MEDIA

La decadencia del arte de la construcción es un marcado rasgo de la Edad Media. En Inglaterra, por ejemplo, tanto los edificios públicos como los privados fueron de madera hasta la conquista normanda. Donde se usaba la piedra, como en las famosas cruces de Northumbria, se preferían los tipos más blandos; al parecer faltaban herramientas con que cortar, por ejemplo, la piedra caliza magnésica del norte. La fabricación de ladrillos fue virtualmente un arte perdido, y la cantería que hubo en Inglaterra parece haber sido ejecutada a menudo, o al menos supervisada, por albañiles traídos de Francia o Italia. Los muros de troncos partidos de la iglesia de Greenstead, en Essex, que han llegado hasta nosotros, re-

presentan lo que debe haber sido el tipo común de iglesia durante cuatro siglos; las casas señoriales de los caballeros sajones podemos estar seguros de que no serían mejores.

Italia, y en menor grado el Imperio franco y aun la España visigótica tuvieron una tradición más pujante de construcción en piedra, basada en el desarrollo de la basílica romana. Este había sido el edificio público de los romanos, dividido por columnas en una nave central y naves laterales, y desde el siglo IV constituyó el modelo de las iglesias cristianas primitivas. Tenían un ábside circular al extremo este y un pórtico sin barandilla o antenave al oeste, mientras las columnas, que antiguamente se disponían en dos filas, ahora lo estaban en una sola a cada lado de la nave central, sosteniendo los muros atravesados por ventanas que formaban la parte superior de la nave. La arquitectura románica primitiva, no obstante, ha dejado pocos vestigios, y es significativo que su principal creación, la catedral de Carlomagno en Aquisgrán, sigue el modelo de la iglesia bizantina italiana de San Vital en Ravena.

Esto recuerda que lo mejor de Occidente venía de la ininterrumpida tradición de construcciones romanas de Constantinopla. El año 537, en la época en que Europa se encontraba más dominada por los bárbaros, se consagró la gran catedral en ladrillo de Santa Sofía, de Justiniano, con sus arcos de 30 metros de luz y la asombrosa cúpula de pechina, llamada así por el uso de triángulos esféricos invertidos para transmitir el peso a las esquinas de una torre cuadrada de 55 metros de altura. Dedicada a la Divina Sabiduría, atestigua, sin embargo, la sublime ingeniosidad del hombre. El ladrillo se usó en la práctica bizantina como material de revestimiento, o alternando en las hiladas con la piedra; y la piedra se acoplaba tan exactamente que algunos edificios de piedra no tenían mortero. La influencia bizantina fue naturalmente mayor en el norte de Italia, donde la iglesia de San Vital de Ravena tenía, para mayor le-

vedad, una cúpula construida de ollas de loza huecas, mientras que el famoso mausoleo de Teodorico (figura 70), construido en la misma ciudad y al mismo tiempo (segundo cuarto del siglo VI), estaba coronado por una cúpula achatada hecha de un solo bloque de piedra caliza de 10 metros de diámetro. Hacia el tiempo de la conquista normanda de Inglaterra, el mismo estilo bizantino halló espléndida expresión en la reconstrucción de San Marcos de Venecia.

Fig. 70. Tumba de Teodorico.

La arquitectura románica, que empezó a extenderse a través de los Alpes como consecuencia de las visitas del alto clero a Roma y de la migración de obreros italianos, se desarrolló más vigorosamente desde el comienzo del siglo XI. Las abadías normandas de Bernay y Jumièges fueron realizaciones de un abad benedictino italiano, y la última parece haber inspirado la obra de Eduardo el Confesor en Westminster. Desde el tiempo de Guillermo I, el estilo que los propios normandos acababan de adquirir fue acuñado con creciente perfección en la Inglaterra que habían conquistado: el cambio se puede seguir incluso en las frecuentes referencias a los derechos de explotación de canteras en documentos legales. El mejor material se obtenía en Northamptonshire,

en el sur de Yorkshire, y en Somerset, pero había una preferencia natural por la piedra local o la piedra que era fácilmente accesible por vía marítima o fluvial; consecuentemente, muchos edificios importantes del sudeste de Inglaterra se construyeron con piedra caliza de Caen, Normandía. Las dificultades de transporte obligaron igualmente a aprovechar los bloques de piedra por pequeños que fueran: los muros gruesos se fabricaban con un interior de cascote, y con mucha frecuencia el cascote era meramente enlucido en la superficie. El rasgo común característico de las iglesias y los castillos fue la bóveda de cañón, semicircular, de origen romano, cuyo empuje exterior fue combatido al principio, no por contrafuertes, sino engrosando el muro o introduciendo una segunda bóveda de rincón de claustro, como en las naves laterales más bajas de la capilla de San Juan en la Torre de Londres. Las ventanas tenían también en forma semicircular la parte superior; este tipo de ventana ha sido llamado frecuentemente ventana «normanda».

Aunque la abadía de Saint Denis cerca de París, que fue empezada en 1137, se considera generalmente como el primer brote del estilo que una época posterior denominó con el denigrante nombre de gótico, en Inglaterra el punto de partida es la reconstrucción de la catedral de Canterbury por un arquitecto francés más de una generación posterior, y hasta el principio del siglo XIII no tuvo plenos efectos la introducción del arco apuntado. La gran ventaja del arco apuntado fue que la altura del arco ya no estaba determinada por su anchura; esto hizo posible aplicar el principio de la bóveda de arista usada por los romanos. El techo elevado, gloria suprema de la catedral gótica, que alcanza su culminación en el coro de Beauvais, de 48 metros de altura, vino a ser sostenido por nervaduras que podían arrancar de una sola columna en tres direcciones para formar arcos de diferentes ángulos que alcanzan la misma altura. Además, cuanto más puntiagudo es el arco, mayor es el empuje hacia el suelo y menor el temi-

do empuje lateral. En iglesias sin naves laterales, tales como la Capilla del King's College, en Cambridge, el empuje del techo de piedra podía ser soportado satisfactoriamente afianzando los muros; de otro modo, era necesario tender de alguna manera un puente sobre las naves laterales, problema que los arquitectos franceses resolvieron triunfalmente con el invento del arbotante, como puede verse en la Abadía de Westminster. En la estructura de la catedral de Salisbury, de mediados del siglo XIII, se puede ya prever la forma de edificación en esqueleto que no fue desarrollada por completo hasta después de 1500. Por entonces los muros habían llegado a ser meras armazones para el esplendor de las vidrieras (p. 141), mientras que las estrechas columnas que culminaban en bóvedas de abanico aumentaban la sensación de espaciosidad.

Todo esto dependía del trabajo del albañil. Hacia el siglo XIV, a más tardar, se trabajaban ya todos los tipos de piedra inglesa, desde la de Portland, que había hecho ya su aparición en Londres en la reconstrucción de la abadía de Westminster por Enrique III, al alabastro (yesoso) del noroeste de Midlands, usado para la talla de efigies y retablos de altares y extensamente exportado. Para ahorrar transporte, la piedra se trabajaba, en gran medida, en la cantera, que era el terreno de aprendizaje habitual de los albañiles e incluso del maestro de obras, que, como el constructor a destajo de los tiempos modernos, trabajaba junto a los hombres a los que supervisaba. Había tres categorías de trabajadores: los *free-masons* (albañiles libres o francos, llamados así porque estaban capacitados para tallar la piedra franca, es decir, piedra no granulada, especialmente arenisca y caliza, que podía trabajarse en cualquier dirección); los *rough-masons* (albañiles toscos, que escuadraban la piedra y hacían molduras rectas), y los peones, para acarrearla. Esta última era una tarea ardua y peligrosa, porque, aunque las herramientas del albañil no eran muy diferentes de las de hoy (fig. 71),

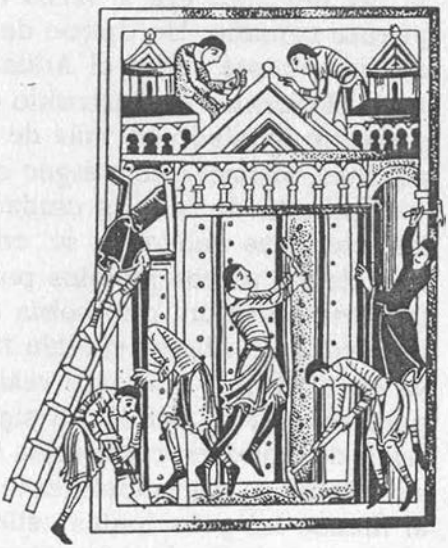


Fig. 71. Saqueo de una catedral. De una miniatura inglesa del siglo XII: nótese la variedad de herramientas.

para levantar los materiales pesados todo lo que había era una simple cabria con una polea fija y un torno, al mismo tiempo que el andamiaje consistía sólo en maderos atados y vigas metidas en agujeros en el muro (fig. 72). Los peones, acerca de los cuales suelen guardar silencio los documentos de la época, eran indudablemente la clase más numerosa: cuando se construyó de prisa un castillo galés se necesitaron 1.000 peones y otros 230 obreros para ayudar a 400 albañiles.

El arte del albañil no debe oscurecer al del carpintero, sin el cual los tejados de roble, que fueron un rasgo particular de la edificación gótica inglesa, no se habrían podido realizar. Estos tejados fueron muy reforzados al abandonarse la antigua práctica de descansar los cabrios sobre la parte exterior de la bóveda de piedra. Fue necesaria una viga-tirante para impedir que los cabrios presionaran hacia fuera los lados del edificio, pero con un tejado de fuerte pendiente era difícil que éste bajara lo bastante sin obstruir la vista de las ventanas del este y del oeste: de aquí la complicada carpintería de la llamada cubierta gótica. En esta estructura de compromiso, peculiar

Fig. 72. Construcción en piedra. De un manuscrito francés del siglo XV.

de Inglaterra, se suprimía la parte central de la vigatirante para despejar la vista, pero se transmitía buena parte del empuje hacia afuera sobre los muros que estaban en una posición más baja, y por tanto más segura, por medio de una riostra curva que presionaba sobre un poste vertical.

Los tejados de los grandes edificios estaban generalmente recubiertos de plomo. Para los tejados ordinarios en ciertos distritos se empleaba la pizarra o piedra local, y en 1212 el uso de tejas en vez de paja o tablas de madera fue declarado obligatorio en Londres como precaución contra los incendios. En el curso del mismo siglo se empezaron a usar de nuevo los ladrillos para la arquitectura doméstica, al principio como importación y después como manufactura nativa en manos extranjeras; se utilizaron principalmente en los condados del este, donde se asentaban flamencos u holandeses. Todavía en el siglo XV se construyó en ladrillo un castillo de Lincolnshire (Tattershall), pero por entonces los castillos

se estaban convirtiendo en una mera vivienda fortificada, y se daba mayor importancia a la muralla de la ciudad, construida y reconstruida por albañiles locales.

La evolución de la iglesia y el castillo de piedra, que domina a los edificios de adobe y de madera del pueblo, es una historia que deja sin contar gran parte del variado desarrollo del arte del constructor medieval. Por ejemplo, algunas torres de faro de mampostería empezaron a ser construidas poco después del año 1000, y desde el siglo XIII las ganancias comerciales fomentaron el trabajo en las gastadas carreteras romanas y en otras rutas de tráfico. En 1237 se había abierto ya a las bestias de carga el camino más directo a través de los Alpes con la construcción de una vía con puentes a través del paso de San Gotardo; una segunda carretera alpina norte-sur, transitable para carros pequeños, fue construida un siglo más tarde. Las órdenes religiosas con frecuencia construyeron y conservaron calzadas a través de los pantanos; motivos menos caritativos influyeron en algunos reyes belicosos, como Eduardo I, quien ordenó dos veces la ampliación de los pasos hacia Gales. A veces se allanaban las carreteras con adoquines asentados con mortero o, más comúnmente, con guijarros o grava sobre arena suelta que las hacían fáciles de reparar, bien adaptadas al tráfico de tracción animal y resistentes a las heladas del norte.

Se trabajó mucho también en la construcción de puentes, especialmente, al parecer, en Inglaterra, aunque la mayoría de los puentes ingleses fueron, sin embargo, estrechos y empinados, apropiados sólo para caballos y peatones. El antiguo puente de Londres (1176), con sus cuatro arcos y su puente levadizo, pertenece al mismo período que el famoso puente de Aviñón, con sus veintiún arcos elípticos; pero la práctica general, como podía esperarse, consistió en imitar los arcos semicirculares de los puentes romanos, aunque los ojos eran menos uniformes. Donde el ímpetu del agua hacía imposible colocar un pilar,

la luz del arco era a veces mayor que en cualquier puente romano. Un duque de Milán del siglo XIV tendió un puente sobre el Adda con un arco de 72 metros; el puente fue destruido durante un sitio en 1416 y no fue igualado en más de cuatrocientos años. Los puentes, al hacer converger el tráfico, estimularon el crecimiento de la vida ciudadana. Al mismo tiempo, las ciudades mayores se empezaban a diferenciar más de los meros pueblos por el restablecimiento de la pavimentación, que había constituido un rasgo de la Córdoba árabe en el siglo IX. En París se colocaron ya en 1185, por mandato real, toscas losas de piedra para reducir el polvo; un siglo más tarde los concejales de Londres recibieron la orden de pavimentar sus distritos; y gradualmente llegó a ser usual cubrir al menos las principales calles con una superficie de piedra o ladrillo. Hubo mejoras paralelas en los abastecimientos urbanos de agua mediante la reparación de acueductos y la introducción de tuberías de plomo, como en el priorato de Canterbury (fig. 73); hacia finales del siglo XV algunas ciudades alemanas del sur usaron para este fin bombas de pistón movidas por ruedas hidráulicas.

Pero la empresa que anticipa con más claridad los tiempos modernos es el comienzo del desarrollo de los canales. El crecimiento del comercio en la Europa de la Baja Edad Media, que aumentó la actividad en los ríos navegables, fue acompañado de un uso creciente de los molinos de agua como fuerza motriz. Desde el fin del siglo XIII y quizá mucho antes este conflicto de intereses estaba solucionándose por la introducción de presas de navegación (compuertas) para mantener la profundidad del agua, asegurándose el libre tránsito por medio de una barrera que se podía levantar y girar a un lado. La corriente no se interrumpía, sin embargo, como en una esclusa, y los barcos tenían que ser arrastrados contra la corriente. La primera presa de que se tiene noticia en el Támesis es de 1306: en el siglo XVI había veintitrés presas

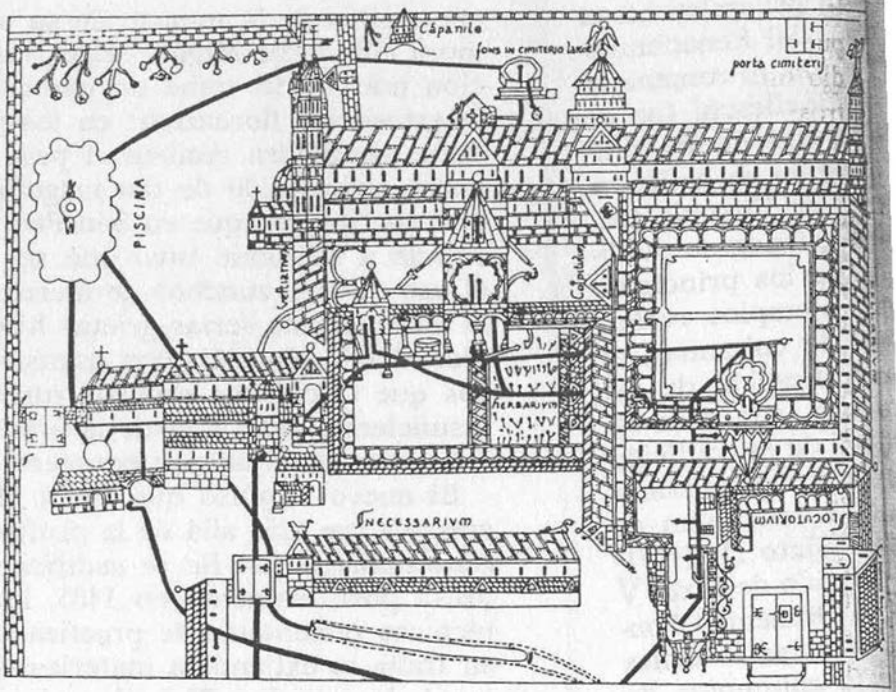


Fig. 73. Parte del plano de la catedral y priorato de Canterbury, mostrando los sistemas de abastecimiento de agua y drenaje. Hacia 1153.

en los 100 kilómetros del río entre Oxford y Maidenhead.

Fue, sin embargo, en Holanda donde se desarrolló un tipo más complejo de compuerta en los canales de drenaje; cuando la marea estaba a la altura conveniente para equilibrar la presión del agua del canal al otro lado de la compuerta, ésta podía levantarse, permitiendo a los barcos pasar a y desde el río en que desaguaba el canal de drenaje. Hacia 1373 como muy tarde, los holandeses habían aprendido a construir dos compuertas de desagüe entre las que quedaba un gran estanque, equivalente a una esclusa, pero que operaba más lentamente a causa del gran volumen de agua, y a largos intervalos. En la última década de ese siglo este sistema fue seguido por la

primera esclusa de dimensiones modernas, capaz de ser abierta y cerrada para cada barco que pasaba, construida en Damme, cerca de Brujas. El desarrollo de las modernas puertas de esclusa móviles, accionadas por parejas y conteniendo pequeñas compuertas para controlar la corriente de agua en la esclusa, parece que fue inmediato. En una región más al este, pero sin duda bajo influencia holandesa, se usaron por primera vez las esclusas, no simplemente para evitar los efectos de las mareas, sino para transportar barcos por encima de un escollo de tierra entre dos niveles de agua más bajos. La hoya hidrográfica entre el Elba y el Stecknitz fue salvada en 1391 por dos esclusas con una altura de cinco metros, seguidas por un canal de tres metros y medio de profundidad, constituyendo una ruta fluvial interior desde Lübeck a Hamburgo. De modo similar, en el norte de Italia un canal de riego, terminado en 1209, fue profundizado más tarde, equipado con compuertas, y llamado desde su acondicionamiento el Naviglio Grande; poco después de 1400 se hizo un canal que permitió llevar el mármol desde el lago Maggiore a la nueva catedral de Milán, empresa que preparaba el camino a los grandes proyectos de canalización asociados con el Renacimiento italiano.

LA CONSTRUCCION DESDE EL RENACIMIENTO HASTA EL SIGLO XVIII

En la construcción de edificios en general, el mayor impacto del Renacimiento italiano es, desde luego, el renacimiento de los estilos clásicos, y aun de los métodos clásicos en arquitectura, que en 1450 se habían extendido por toda Italia, excepto Venecia, y en 1750 habían desplazado completamente al gótico en las más remotas partes de Europa. La cúpula de ladrillo que Brunelleschi erigió en Florencia en 1420, con sus dos armaduras de fábrica de ladrillo unidas por 24 nervaduras de piedra a lo largo de los lados

de la bóveda octogonal, se considera generalmente el punto de partida de la arquitectura del Renacimiento. La doble cúpula, sin embargo, no es ni romana ni bizantina, sino de origen persa. Brunelleschi fue de los primeros en volver a la arquitectura de los antiguos, y fue en su tiempo (1414) cuando se halló, en un monasterio suizo, un manuscrito de Vitruvio (página 239), aunque no fue hasta 1486 cuando su publicación hizo más fácil la imitación de los principios de la arquitectura clásica sin ver ejemplos reales. Así revivieron los órdenes clásicos de columnas, al menos para la decoración, en la edificación de los espléndidos palacios del Renacimiento, que eran espaciosos, alegres y grandiosos, dentro de la tradición clásica. Roma en particular sufrió una completa transformación, entre la preparación del primer plan de ordenación de la ciudad por el papa Sixto IV (1471-84), pasando por el revolucionario reinado de Sixto V (1585-90) —cuando el gran arquitecto Domenico Fontana transformó el trazado de las principales calles y plazas—, hasta la terminación de la columnata de la plaza de San Pedro por Bernini en 1667, que hizo de la ciudad papal el remate glorioso de esta última gran época de Italia. Fue Fontana quien organizó el traslado, desde la plaza de detrás de San Pedro a un emplazamiento central enfrente de éste, del obelisco egipcio de 23 metros de altura y de un peso de 327 toneladas, que el emperador Calígula había traído a Roma desde Heliópolis (Frontispicio). Aunque el nuevo emplazamiento estaba más bajo que el antiguo, el transporte ocupó a unos 800 hombres y 140 caballos que hacían funcionar 40 cabrestantes, con un ejecutor público disponible en el sitio: métodos difícilmente distinguibles (excepto por los cabrestantes) de los que se siguieron para levantar por primera vez tales obeliscos tres milenios y medio antes en las márgenes del Nilo.

Con respecto al propio San Pedro se puede observar que el proyecto general para su reconstrucción, obra maestra de Bramante, fue inaugurado sólo ocho

años antes de la muerte de su autor en 1514. La famosa cúpula de Miguel Angel, terminada una generación más tarde, tiene un parecido muy notable con la estructura florentina: en los dos casos las nervaduras de piedra reciben el peso principal de la linterna, suspendida de tan magnífica forma en el aire a 91 metros, aunque en San Pedro la tendencia de la cúpula a dilatarse tuvo que ser contrarrestada por el uso de tres zunchos de hierro. Dos siglos después la aparición de serias grietas hizo que el papa Benedicto XIV nombrara una comisión de tres matemáticos que calcularan que los zunchos existentes eran insuficientes para resistir la presión; por recomendación suya se añadieron entonces cinco más.

El nuevo impulso que Italia dio a la arquitectura europea fue más allá de la profusión de sus edificios renacentistas. En *De re aedificatoria* de Alberti, impresa póstumamente en 1485, la descripción de las técnicas recientemente practicadas en aquella época en Italia se extiende a materias tales como las esclusas de los canales. El genio universal de Leonardo de Vinci, interesado desde un punto de vista imaginativo y teórico en casi todos los problemas del arquitecto, constructor e ingeniero de su tiempo, dejó en sus estudios muchas cosas que todavía atraen la atención de las generaciones posteriores; y sus ideas pueden haber tenido al menos un efecto indirecto sobre Galileo. Es a este astrónomo italiano, obligado en su vejez por la Inquisición a desviarse del más peligroso estudio del sistema celeste, a quien debemos la primera exposición de muchos de los problemas de mecánica y estática, publicada, bastante significativamente, en Holanda en 1638. No sólo reunió Galileo todo lo que el siglo XVI había aprendido en las ciencias que afectan a la construcción, sino que de su estudio de la resistencia a la flexión de una viga data una nueva rama de la ciencia: la teoría de la resistencia de materiales.

En Francia, a la que las guerras de 1494 en adelante familiarizaron con las nuevas tendencias, hubo

muchas imitaciones de la cúpula y de la arquitectura secular italianas, que rivalizaron —y en Versalles las sobrepasaron— con las realizaciones italianas. Los edificios de Luis XIV acuden en seguida a la memoria, pero fue su abuelo, Enrique de Navarra, quien empezó a transformar París en una ciudad planificada por medio de un programa de obras públicas, ideado como un acto de restauración después de las guerras de religión y como un medio de dar empleo a su pueblo. La mansarda, con su doble vertiente a cada lado, aunque toma su nombre de un arquitecto francés nacido en 1598, estaba realmente en uso en Hampton Court, el Louvre y en la misma Italia un siglo antes. Su importancia, quizá mayor en Francia, consistió en que hizo posible combinar el empinado tejado medieval —característico del norte de Europa con sus pesadas nevadas— con la existencia de buenos áticos, bien iluminados, para acomodar a una población urbana creciente. La arquitectura gótica estaba, sin embargo, más firmemente arraigada en el norte que en Italia, de modo que muchas de sus características desaparecieron difícilmente, y la edificación de casas con muros de entramado de madera relleno de otro material, y de casas de piedra en estilos tradicionales más antiguos, como los de los pueblos ingleses de Cotswolds, continuó a lo largo de los siglos XVI y XVII.

En Inglaterra, en realidad, el impacto de la arquitectura del Renacimiento está asociado principalmente con dos arquitectos, ambos del siglo XVII. Fue en 1617 cuando Iñigo Jones levantó los primeros edificios de estilo totalmente italiano, distinto al estilo que tenía rasgos italianos superpuestos a una estructura gótica. En Greenwich, Whitehall y Covent Garden introdujo los órdenes clásicos (p. 239), junto a grandes ventanas, tejados de poca pendiente y chimeneas ocultas; la importancia de la chimenea estaba aumentando con el creciente uso del carbón (página 213). Pero el gusto de la clase acomodada inglesa apenas había avanzado más allá de la decoración de

las fachadas de las casas solariegas con cornisas clásicas y pilastras, cuando las guerras civiles y sus consecuencias detuvieron las obras de construcción, de forma que todavía a mediados de siglo las ideas del Renacimiento habían progresado poco.

Una de las obras menores de Iñigo Jones fue el pórtico que añadió a la fachada oeste de la vieja catedral de San Pablo, que estaba en curso de lenta restauración una generación antes del gran incendio de Londres en 1666. Este pórtico constituye un interesante nexo entre el hombre que llevó a Inglaterra la arquitectura del Renacimiento desde sus ensayos empíricos en Roma y Sir Christopher Wren —ya famoso como astrónomo y científico antes de que se dedicara a la arquitectura—, que la puso de moda cerca de una generación después de la principal obra de su predecesor. Aparte de su formación, Wren conocía bien las ideas de los filósofos naturales contemporáneos tales como John Wallis y Robert Hooke: sin embargo, sus proyectos parecen haber sido ampliamente empíricos e intuitivos. Wren construyó cincuenta y dos iglesias en Londres, y dejó su marca también en Oxford y en Cambridge, pero la nueva catedral de San Pablo —una triunfal introducción en Inglaterra de la cúpula traída de segunda mano de Italia, pues el propio Wren no había visto nunca ni la obra de Brunelleschi en Florencia ni el San Pedro de Miguel Angel— supera todas sus otras realizaciones. Como sus prototipos italianos, ésta es una cúpula doble, pero el espacio entre la cúpula interior de ladrillo y la exterior de madera cubierta de plomo está muy aumentado para combinar la belleza de un hemisferio interior con el máximo efecto de una altura descollante, visible entonces desde todas las partes de la ciudad. La cúpula de Wren resolvió el problema del peso de la linterna de piedra incluyendo un cono intermedio invisible de ladrillo.

El gran incendio, que devastó completamente un área de 1,76 kilómetros cuadrados alrededor de la catedral, tuvo importantes consecuencias tecnológi-

cas fuera de la esfera de la arquitectura eclesiástica. Las bombas contra incendios, que constaban de un cilindro transportable y una bomba de pistón preparada para un funcionamiento continuo, tal como las describió Herón en el siglo I d.C., fueron introducidas en Inglaterra desde Nuremberg en 1625 y fabricadas a razón de aproximadamente dos por año; la idea parece haber alcanzado las colonias americanas en 1654. En los primeros quince años después del incendio, el uso de tuberías de cuero que permitían hacer funcionar la bomba a prudente distancia fue introducido desde Holanda, como lo fue también el de la manguera aspirante con alambre de hierro en vez de tener que rellenar la bomba con una cadena de cubos que se llenaban, se pasaban y a menudo vaciaban a mano. El Parlamento dictó regulaciones de edificación para Londres, requiriendo uniformidad en el material para techos y la construcción en ladrillo o piedra, y las compañías de seguros de incendios empezaron a desarrollarse en Inglaterra un siglo antes que en otros países. Sin embargo, la opinión pública no prestó suficiente apoyo para llevar a cabo el atrevido plan de reconstrucción de Wren, siguiendo el cual la ciudad se habría convertido en un centro urbano planificado con vistas comparables a las de París, y una parte de la luz y el aire que los bombarderos de Hitler permitieron que entraran en sus calles estrechas podrían haber sido atractivos permanentes desde cerca de tres siglos antes. Tal como sucedió, la ordenación de la ciudad que Iñigo Jones había empezado en Lincoln's Inn Fields y Covent Garden sólo pudo extenderse hacia el oeste y el noroeste, en las plazas del West End, de las cuales sólo la plaza de Leicester había sido terminada antes del incendio. Hacia la mitad del siglo XVIII sus fachadas clásicas estaban empezando a llegar a Oxford Street.

Si Inglaterra fue más lenta que Italia o Francia en apreciar los beneficios de la planificación urbana, en cambio tuvo la ventaja de que al ser una isla que gozaba de fuerte protección naval, los asentamientos

de las ciudades se veían menos estorbados por las necesidades de fortificación. Aunque las fortificaciones isabelinas de Berwick figuran entre los primeros ejemplares de las complejas defensas de las ciudades que sustituyeron en toda Europa al castillo medieval, el sitio de Londonderry en 1689 fue la última ocasión en que las fortificaciones urbanas desempeñaron un papel importante en la historia nacional británica. En el continente estaba entonces alboreando la época de Vauban. El gran mariscal francés convirtió en un refinado arte el sistema de alejar las obras de defensa más allá de la muralla de la ciudad y desarrollar esa muralla en una serie de plataformas para la artillería, problema al que italianos como Maquiavelo y Leonardo de Vinci habían prestado atención durante las guerras franco-españolas en Italia. La teoría de las figuras poligonales que proveen la más completa red de líneas de fuego desde una determinada área fortificada llegó a formar parte de los estudios matemáticos.

Vauban, cuyas contribuciones a la arquitectura militar fueron contempladas con respeto hasta el siglo XIX, empezó con un «primer sistema». Este combinaba diversos mecanismos para alejar los medios de defensa de la muralla original, tales momo el fuerte exterior o luneta y la posición exterior más pequeña, situada entre dos bastiones, llamada tenaza, que habían sido puestos en práctica en las guerras de los dos siglos precedentes. Más tarde desarrolló la defensa en profundidad, con un segundo foso y otra muralla detrás de las construcciones del «primer sistema». Estas nuevas defensas estaban flanqueadas por puntos fortificados de dos pisos que contenían un cañón bien protegido que podía disparar en el foso interior y en los bastiones exteriores. Aunque el propio Vauban no hubiera estado asociado con las grandes obras de canalización de Luis XIV ni hubiera apreciado equitativamente sus posibilidades para el comercio y la defensa, sería fácil ver que el gran desarrollo de la ingeniería civil en aquella época fue

ayudado por la exacta topografía, la cuidadosa contabilidad y el competente montaje y organización del material y del personal que requería el ingeniero militar.

Esto se ve, por ejemplo, en los puentes importantes, como el Pont Royal (1685) de París, proyectado por el sobrino de Mansard, J. Hardouin-Mansard, para Luis XIV, y el original puente de Westminster, terminado por un arquitecto suizo, C. D. de Labelye, en 1750. Los puentes viejos se hundían con frecuencia a causa de la inseguridad de sus cimientos; los cimientos se colocaban a menudo sobre islas artificiales (estacadas de protección), como en el viejo puente de Londres, que así estrechaba el cauce del río haciendo peligroso para los barcos el ímpetu del agua. Mejores resultados dio la introducción de la ataguía, barrera estanca sobre el lecho del río, detrás de la que se extraía el agua por bombeo, y dentro de la cual era posible excavar para colocar unos cimientos firmes sobre los que se pudieran construir los pilares del puente (fig. 74). Se cree que fue De Labelye quien primero mejoró este método hundiendo un cajón en un área del lecho del río que había sido previamente nivelada por dragado. El cajón del puente de Westminster, que tenía una base de madera de 9 × 24 metros, contenía las primeras hiladas de mampostería para un pilar, y tenía muros laterales de cinco metros, de modo que podía ser desaguado y usado como ataguía; cuando el pilar había quedado construido se retiraban los lados del cajón para un nuevo uso, dejando colocadas la mampostería y la base de madera. Este tipo de obra se beneficiaba también del uso de la maquinaria de bombeo e hinca de pilotes, que funcionaba por medio de un molino de rueda de escalones o por energía hidráulica. La gran atención que los constructores de puentes tuvieron que prestar a la seguridad de los cimientos reflejaba la situación general de la edificación, pues durante toda la época antigua y medieval los constructores se habían mostrado notablemente indife-

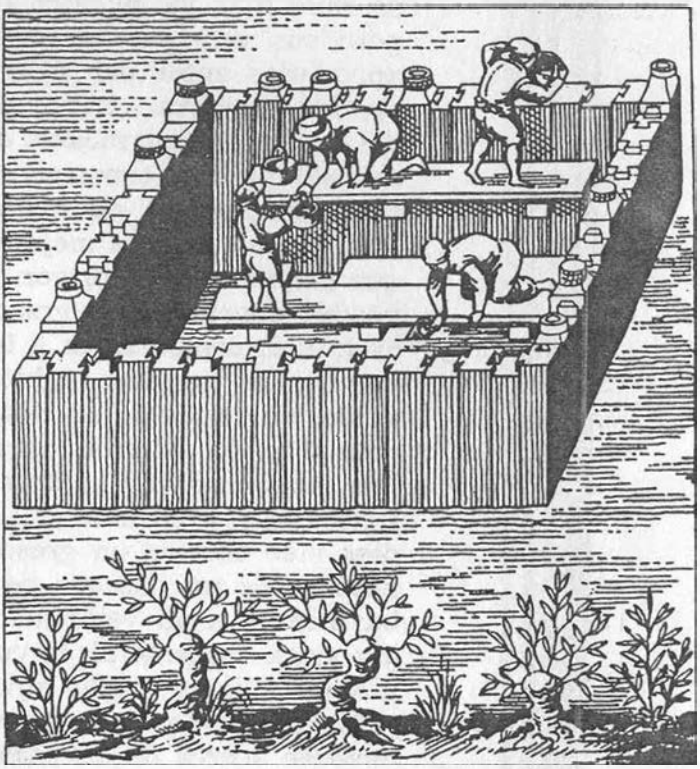


Fig. 74. Ataguía de pilotes empotrados. Ramelli, *Le diverse et artificiose machine*, 1588.

rentes acerca de este aspecto de su obra. Así, los gremios de artesanos comúnmente no daban más que una garantía de diez años contra el hundimiento de la estructura.

Los materiales de construcción de puentes, sin embargo, no cambiaron mucho. Aunque dificultades de ensambladura impedían que el uso de la madera fuese satisfactorio cuando la relación de viga a viga era de tracción más bien de compresión, se propuso el uso de una superestructura de madera para el puente de Westminster en 1730, y éste fue el plan adoptado para el puente sobre el Rin en Schaffhausen en 1757. En *I quatro libri dell'Architettura* (1570) de Palladio

se muestran ya puentes de armadura de madera, pero sus ventajas de construcción no fueron muy apreciadas antes del siglo XIX. Constituyó una importante mejora, ciertamente, la extensión del uso del cemento impermeable de puzolana italiano (página 242) para la construcción bajo el agua que, por ejemplo, proveyó de mampostería impermeable al Pont Royal. Pero la mejora más considerable fue la que proporcionó el mayor empleo de grúas, que hizo posible construir con grandes piedras, labradas con exactitud, comparables a la mampostería de los romanos. Las junturas se hicieron más ajustadas, particularmente las de las dovelas cuneiformes que forman el anillo del arco, mientras que los arcos tenían una mayor luz (118 metros en la segunda mitad del siglo XVIII), eran más estrechos los pilares intermedios y se obtenía un grosor menor en la clave, que pasó desde un doceavo de la luz, como recomendaba Alberti, a un veinticuatroavo a mediados del siglo XVIII. En general, la construcción de puentes se hizo más ligera y más airosa.

Alberti, como se recordará (p. 263), había escrito también acerca de las esclusas de los canales. Mientras él escribía, un ingeniero italiano acababa de terminar un canal de 19 kilómetros que descendía dos metros y medio mediante 18 esclusas (1458), y a partir de entonces se desarrolló en el norte de Italia una considerable red de canales. Antes de terminar el siglo, Leonardo de Vinci, que fue durante algún tiempo ingeniero ducal de Milán, había sustituido para este fin la puerta de rastrillo (fig. 75), cuya superestructura impedía la navegación, por la moderna puerta de batientes, para la cual todavía son válidos sus dibujos. Hacia la mitad del siglo XVI, las esclusas con puerta de batientes se encuentran fuera de Italia en las mejoras de los ríos de Francia, Brandenburgo e Inglaterra. Así los barcos cargados de malta que iban desde Ware, río Lea abajo, al Londres isabelino, entraban en una esclusa que era de tipo moderno en todos los aspectos, excepto en sus mate-

riales de construcción. El poeta de Hertfordshire, Vallans, en 1577 la describe así:

> Esta esclusa contiene dos puertas dobles de madera,
> Dentro de ella una cisterna toda de tablas
> Que únicamente se llena cuando los barcos van a [pasar,
> Abriendo estas poderosas puertas.

En 1660 la esclusa llegó a Suecia, donde se estaban haciendo los primeros intentos de construcción de un canal directo entre Estocolmo y la costa oeste, aprovechando los grandes lagos.

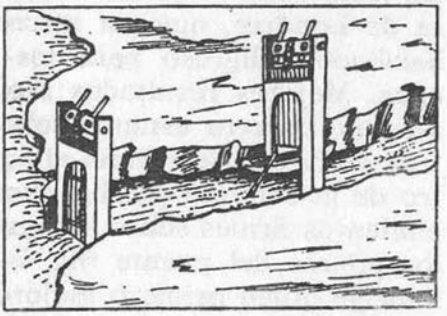


Fig. 75. Esclusa con puertas de rastrillo. De un manuscrito florentino. Hacia 1470.

A mediados del siglo XVIII, aunque Inglaterra aún no tenía verdaderos canales comparables a los del resto de Europa, la longitud de los ríos ingleses que habían sido hechos navegables por medios artificiales era aproximadamente igual a la del total de los que eran navegables naturalmente. La mayoría de estas rutas internas navegables se habían acondicionado a partir de 1600: por ejemplo, el Wey, el Avon en Warwickshire y el Stour en Worcestershire fueron todos abiertos al tráfico en la segunda mitad del siglo XVII, y en los cincuenta años siguientes hubo un significativo crecimiento de las obras de ingeniería en los principales ríos de Yorkshire, en el Mersey e Irwell, y para la navegación del Weaver a través de Cheshire hasta el estuario del Mersey. La última de éstas, terminada en 1732, permitió transportar en el espacio de dos décadas un cargamento anual de más

de 50.000 toneladas. El primer canal a distintos niveles de construcción inglesa no se terminó hasta 1745; fue una empresa relativamente modesta realizada en Irlanda para llevar carbón desde Newry a Lough Neagh y allí embarcarlo hacia Dublín.

La mayoría de los otros países de Europa carecían de la costa relativamente larga, bien provista de abrigados puertos y profundos estuarios, que permitía a Inglaterra y a Escocia contar principalmente con el transporte costero para su comercio interior. Donde la alternativa era el transporte por carretera, había un adecuado incentivo para los constructores de canales en la reducción a un cuarto de los gastos de transporte. El primer canal importante fuera de Italia se terminó en 1561, con una pendiente de 10 metros, para unir Bruselas con el río Rupel; sus cinco esclusas eran lo bastante grandes para acomodar pequeños barcos de altura. A esta obra siguieron otras importantes en Flandes después de la Tregua de los Doce Años firmada entre España y los holandeses en 1609: un canal de 70 kilómetros que unía Brujas con Dunquerque, construido hacia 1622, fue ensanchado y alargado en el medio siglo siguiente. La construcción de canales en Alemania fue interrumpida por la Guerra de los Treinta Años, pero hacia 1669 un ingeniero italiano y otro holandés al servicio de Federico Guillermo, elector de Brandenburgo, dotaron a Alemania de un segundo canal a diferentes niveles, que unía el Spree con el Oder por encima de Francfort. Los mayores desarrollos en este terreno se produjeron, sin embargo, en Francia, donde la posibilidad de construir un canal desde el Mediterráneo al Atlántico fue discutida por Francisco I con Leonardo de Vinci, que le acompañó a su vuelta de las guerras italianas. Este gran proyecto no fue perdido de vista con los disturbios de las guerras de religión, pero Enrique IV y su gran ministro Sully se decidieron por un proyecto más modesto para unir Briare, sobre el Loira, con un tributario del Sena. En 1604 Sully puso 6.000 soldados a trabajar, y en siete años

la obra estuvo virtualmente terminada; tenía una elevación de 39 metros desde el Loira y un descenso de 81 metros hasta el Loing. Su conclusión final se retrasó, sin embargo, hasta 1642, en gran parte por razones políticas, siendo la única dificultad adicional de ingeniería la necesidad de construir un canal de alimentación de 21 kilómetros para aumentar el suministro de agua en la cima. Esto condujo a la realización de un embalse en el nivel más alto, habiéndose usado el mismo recurso cuarenta años más tarde cuando se consideró que la cantidad de tráfico del Loira justificaba la construcción de un segundo canal que conectara directamente Orleáns y el Loing.

Pero el reinado de Luis XIV tuvo lo que Voltaire llamó «su más glorioso monumento» en la construcción del canal de Languedoc, que sigue la más meridional de las rutas alternativas por las que Francisco I había previsto originariamente la unión de los dos mares. En 1661 el ingeniero Riquet ejecutó un proyecto de suministro de agua a la cima; este proyecto implicaba represar un valle con un muro de 32 metros de altura para proporcionar un embalse de 4.000 millones de litros de capacidad, que se llenaba en invierno para usarlo en verano. Habiendo sido apoyado el proyecto por Colbert y aprobado por el rey, un personal obrero bien organizado, de más de 8.000 hombres, terminó el canal en mayo de 1681, siete meses después de la muerte de Riquet. El canal tenía 100 esclusas en una longitud de 240 kilómetros, con una subida de 188 kilómetros desde el Mediterráneo y una bajada de 62 metros hasta el Garona en Toulouse. La empresa incluía ocho esclusas escalonadas, un túnel de 162 metros (el primero en ser barrenado con pólvora), numerosas alcantarillas que pasaban bajo el canal y tres grandes acueductos, siendo diseñados por Vauban los que atraviesan los ríos Cesse y Orbiel. Con una anchura en la base de 10 metros y una profundidad de dos metros, el canal podía llevar barcazas de hasta 200 toneladas desde el Mediterráneo hasta el Atlántico. En ingeniería civil no se

había llevado a cabo una maravilla semejante en la Europa occidental desde la caída del Imperio romano: anticipó los triunfos del siglo XIX, aunque el uso que hizo de esta obra el tráfico de larga distancia siguió siendo pequeño.

El gobierno altamente centralizado de Francia bajo el *ancien régime* se había colocado también a la cabeza en la construcción de carreteras. Como el comercio y los viajes aumentaban, las carreteras de Europa tendían a deteriorarse porque las poblaciones locales eran indiferentes a las necesidades del tráfico de larga distancia: las malas carreteras favorecían el bandidaje, y en algunas regiones los terratenientes tenían legalmente derecho a toda mercancía caída. Por esta razón siguieron usándose las piedras sin tallar y los haces de leña para hacer y reparar carreteras mucho después de que los entusiastas del Renacimiento hubieran atraído la atención hacia la estructura muy superior de las carreteras romanas. En Francia, sin embargo, se estableció en 1645, con carácter permanente, el puesto de *grand voyer*: hubo subvenciones para nuevas carreteras, un servicio de carruajes del Estado (1664) y un uso generalizado de adoquines de piedra para hacer los *pavés du roi*. En 1720 la Regencia francesa estableció el primer cuerpo de funcionarios técnicos para cuidar de las carreteras y de los puentes, cuerpo que inició un sistema organizado de carreteras con desagües. A mediados de ese siglo se había fundado en París una escuela oficial de formación, la École des Ponts et Chaussées, con el resultado de que para 1776 Francia tenía unos 40.000 kilómetros de carreteras bajo control estatal, de las que la mitad estaban siendo entonces reconstruidas o alineadas como avenidas. Además, el método francés de superponer las pequeñas piedras de superficie sobre capas de piedras mayores colocadas en la base había encontrado imitadores aun antes de 1750 en alguno de los más pequeños estados alemanes y en el Imperio en tiempos de Carlos VI, que unió Viena con Trieste.

6. EL TRANSPORTE

LOS COMIENZOS: LA RUEDA Y EL CABALLO

Los problemas del transporte no son peculiares de los seres humanos, como nos recuerda, por ejemplo, el sorprendente espectáculo de los castores acarreando madera cortada a lo largo de canales en miniatura que ellos mismos construyen. Ni son tampoco peculiares del mundo habitado, puesto que las más sensacionales aventuras científicas de nuestros días afectan al transporte en el espacio exterior. Con tema tan vasto no es extraño que no exista un punto de partida evidente. Debemos suponer que fueron las mujeres los primeros porteadores humanos, transportando a los niños y los alimentos recogidos mientras los hombres actuaban principalmente como cazadores y protectores. Así, el atarse un bulto a la espalda o arrastrarlo sobre las ramillas extendidas de una rama adecuada son contribuciones a la tecnología que tienen probablemente un origen femenino.

No sabemos, sin embargo, en qué remotos tiempos fue transferida por primera vez la carga desde la espalda de la mujer, o desde el artefacto de que tiraba, al lomo de un animal domesticado. Algunos han supuesto que fue el perro el primero en ser usado de este modo, porque fue el primero en ser domesticado; otros han dado precedencia al reno, porque sería fácil hacerle tirar de una carga sobre la nieve resbaladiza. Podría también parecer probable que, una vez que el ganado hubo sido domesticado, se impusiera rápidamente por sí misma la idea de que la fuerza del buey podía ser usada para un duro acarreo. Sin embargo, no existen hechos pertinentes que abarquen el período primitivo de la domesticación de los ani-

males (p. 68), período que puede ser incluso anterior en dos milenios al primer testimonio cierto que tenemos del trabajo de un animal de carga: el asno, que fue utilizado con este fin en el Alto Egipto al comienzo del primitivo período dinástico (alrededor del año 3000 a.C.). Como por aquel tiempo, en Mesopotamia, el asno había sido también atalajado para tirar de un vehículo, podemos inferir quizá que el asno había estado llevando su carga hacía ya muchos siglos. Es un hecho cierto que hacia el año 2000 a.C. las caravanas de asnos de carga eran de uso regular en el Oriente Próximo para pagos de tributos y mercancías.

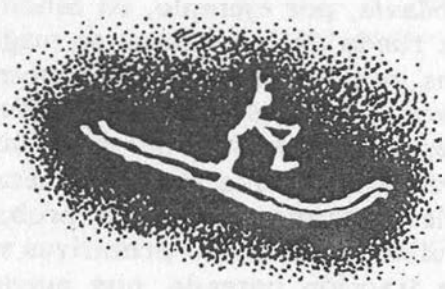


Fig. 76. Hombre sobre esquís. Talla en roca de la Edad de Piedra. Norte de Noruega.

Otras dos líneas de progreso en el transporte son de antigüedad inmemorial. El yugo y las andas fueron resultado evidente del transporte de bultos; y las prácticas de acarrear un bulto sobre una rama y de arrastrar sobre el suelo a los animales matados dentro de sus propias pieles deben haberse combinado pronto para sugerir la posibilidad de transformar un tronco de árbol en una tosca narria. Desconocemos cuándo se añadieron por primera vez los patines para facilitar el arrastre sobre la hierba, la tierra pelada, los pantanos o la nieve, pero en Escandinavia las narrias más antiguas pertenecen al Mesolítico, y los esquís (fig. 76), que se basan en el mismo principio de deslizamiento, existieron allí desde finales del Neolítico. También en Egipto y Mesopotamia fue la narria lo que, junto con las cuerdas, permitió a los

hombres erigir las primeras figuras colosales de dioses, ahora olvidados desde hace tiempo (fig. 77).

La misma oscuridad rodea el desarrollo de la embarcación desde el tiempo en que el hombre, torpe nadador, vio la posibilidad de usar objetos flotantes para sostenerse en el agua. El ahuecamiento de un tronco de madera para sentarse dentro, en vez de hacerlo a horcajadas sobre el mismo, nos parece el primer paso más natural, pero el pequeño Moisés en su cesta de juncos y el moderno galés en su barquilla de mimbres cubiertos de cuero nos recuerdan algunos de los otros materiales a partir de los cuales la humanidad desarrolló la embarcación. Cuando se multiplicaron, el simple flotador originario se convirtió rápidamente en la balsa, pero para hacer una embarcación eficiente se requirieron dos adelantos más. Uno de ellos fue conseguir capacidad de maniobra aumentando la eslora en relación con la manga; el otro ampliar el espacio ahuecado para aumentar tanto la flotabilidad como la capacidad.

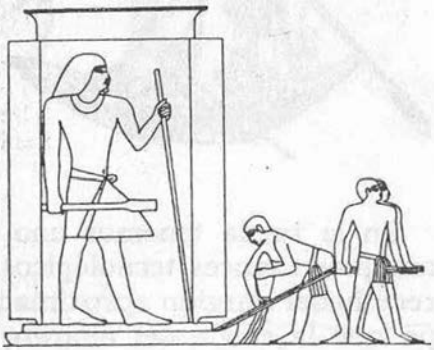


Fig. 77. Transporte de una estatua en narria. De una tumba en Saqqara, Egipto. Hacia 2400 a. C.

Otros cuatro inventos más dieron al transporte por tierra y por agua su forma característica y prepararon el camino hacia la revolución industrial. Estos inventos son la rueda, la vela, la carretera (p. 237) y la utilización de la fuerza y la velocidad del caballo. Del origen de la vela, que tiene un prototipo evidente en la hoja flotante llevada por el viento, poco po-

demos decir. Algunos dibujos egipcios primitivos nos muestran embarcaciones construidas con cañas y equipadas para llevar una vela cuadrada desplegada desde una corta verga sobre un mástil bípode; ese mástil estaba situado bien hacia delante, estando diseñada la embarcación para ser empujada aguas arriba del Nilo por el viento norte dominante. A mediados del tercer milenio a.C. embarcaciones de cañas y en mayor número de madera atravesaban el Mediterráneo oriental; después que el mástil hubo sido plantado más cerca del centro de la embarcación fue más fácil navegar con el viento de través (fig. 78). El Tigris y el Eufrates fueron los hogares primitivos del flotador de piel inflada y de la barquilla de cuero, pero no se sabe en qué período navegaron por primera vez las embarcaciones desde allí a los puertos egipcios del mar Rojo.

Fig. 78. Modelo de embarcación egipcia. Hacia 2000-1800 a. C. De una tumba en Beni Hasan.

En la rueda tenemos uno de los mayores y más antiguos avances tecnológicos. La rueda de carro parece haber surgido aproximadamente al mismo tiempo que la rueda del alfarero (p. 112) y ciertamente tuvo también resultados de gran alcance. Así, el indicio más primitivo del uso de vehículos con ruedas —un estilizado bosquejo en una tablilla sumeria que muestra una narria montada sobre cuatro ruedas macizas— puede ser fechado no mucho después del año 3500 a.C. La carreta, la galera y el carro de dos ruedas se convirtieron después, rápidamente, en característicos de las civilizaciones primitivas, aunque

hasta el segundo milenio a.C. el carro de dos ruedas no se convirtió en el vehículo tirado por caballos descrito por Homero y en el Antiguo Testamento.

Las ruedas de estos vehículos primitivos eran macizas. Esto parece apoyar la idea común de que la rueda se originó a partir de la utilización por el hombre primitivo del rodillo para mover objetos pesados, tales como los trilitos de nuestro propio Stonehenge (p. 237). Pero en realidad las ruedas macizas son casi siempre discos tripartitos, habiendo sido talladas tres tablas de madera para formar un círculo y unidas por un par de riostras transversales de madera. El eje se hacía por separado; pero no sabemos si al principio las ruedas giraban con él, como lo hacen todavía, por ejemplo, en Sindh. Se ha afirmado que la rueda de tres piezas se originó en un país donde los grandes árboles —que permiten obtener rápidamente grandes discos de madera por medio de cortes transversales— no eran numerosos, y entre un pueblo que tenía sierra de metal, dos indicios de que Mesopotamia es su lugar probable de origen. Un segundo rasgo de los primitivos vehículos de ruedas es la tracción pareada, que puede haber resultado de la transferencia del engero del arado tirado por bueyes al arrastre de las narrias sobre ruedas. Así, puede muy bien ser que la rueda tripartita y el engero se desarrollaran ambos a partir de un origen común en la Baja Mesopotamia.

El rayo de rueda y el caballo hicieron su aparición juntos antes del año 1800 a.C., momento en que el carro de dos ruedas tirado por caballos, ligero y fácilmente manejable, llegó a ser un factor decisivo tanto en las grandes guerras entre los imperios antiguos como en el mantenimiento de las comunicaciones internas de las que dependía su supervivencia. Existen pocos testimonios arqueológicos para sostener la teoría de que el rayo de rueda se impuso por sí mismo como resultado de la talla de agujeros en las ruedas macizas: es más seguro considerar la rue-

da de rayos como un invento nuevo, cuyas plenas posibilidades para el transporte de grandes pesos no se realizaron hasta finales de la Edad Media. La rueda de cuatro rayos puede haber sido al principio la más corriente, pero se encuentran ejemplares de seis, ocho y aún más rayos pertenecientes a los primeros seis siglos de existencia conocida de la rueda de rayos, período durante el cual se extendió su uso hacia el oeste hasta Creta y se difundió ampliamente por todo el Oriente Próximo y Medio. Los artífices de ruedas egipcios (fig. 79), los primeros de que tenemos conocimiento preciso, hacían los cubos y las pinas de las ruedas de segmentos de madera tallados separadamente, que unían con juntas de caja y espiga para formar un círculo. Los rayos se hacían de dos piezas de madera encoladas punta con punta, y alisadas para encajar con precisión en los agujeros hechos a propósito en el cubo y la pina.

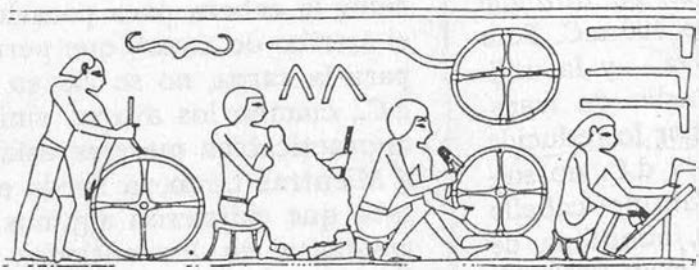


Fig. 79. Artífices egipcios de ruedas. De una tumba en Tebas. Hacia 1475 a. C.

Los carros y galeras usados en los imperios primitivos nos son conocidos principalmente por los espléndidos ejemplos conservados en las tumbas reales, pero se usaban generalmente para el transporte de víveres, materiales de construcción y metales, así como para transportar a los pueblos emigrantes. Durante el tercer milenio a.C. se habían llegado a utilizar tipos de gran rendimiento, que —aparte de la

introducción de la rueda de rayos— sufrieron pocos cambios más entre los antiguos y en algunas partes del mundo subsisten hoy día. Excepto por sus toscas ruedas de travesaño, los carros de campo griegos del período clásico (fig. 80) no parecen muy diferentes de algunos de los tipos más toscos de los tiempos modernos. Pero los carros de dos ruedas, pintados igualmente en los vasos griegos, representan una eminente realización técnica que en su momento configuró el curso de la historia, pero que hace tiempo que ha caído completamente en desuso.

Fig. 80. Carro de campo griego. De un vaso del siglo IV a. C.

Los carros egipcios de dos ruedas, tales como el hallado en la tumba de Tutânkhamón, son los vehículos de ruedas más antiguos que quedan completos todavía. Son obras maestras de habilidad, habiéndose usado el calor para dar forma tanto a la lanza como a las pinas. El suelo estaba hecho de correas de cuero entrelazadas, el yugo descansaba sobre una enjalma en el lomo del caballo, sostenida por una cincha a la cual se sujetaba también el arnés de petral, con una anilla para las riendas. Estas se fijaban a una muserola, que con otras cinco correas formaba la brida; los caballos llevaban anteojeras, pero no se conservan bocados. Las pezoneras dejaban un juego de un centímetro, aproximadamente, para la rueda, que se ajustaba con extraordinaria destreza y precisión. El tipo de carro del que Homero imaginó descendiendo a sus héroes para combatir al destino de Troya era muy similar a éste (fig. 81).

Fig. 81. Carro de guerra griego. De un vaso del año 500 a. C., aproximadamente.

EL PERIODO GRECO-ROMANO

En los tiempos clásicos el arte de la guerra cambió por la utilización del caballo para montar, práctica que, junto con la caza a caballo, se difundió desde las estepas de Asia hacia el año 800 a.C. Pero la efectividad de la caballería primitiva —y la utilidad de la monta en general como medio de transporte— estaba estrictamente limitada por lo reducido del equipo de montar. Hasta el siglo IV d.C. no sustituyeron los romanos la primitiva monta del caballo por la silla de montar almohadillada, adoptada de Oriente. Aunque las anillas sueltas no eran desconocidas como ayuda para la monta, no existían estribos de metal para asegurar más plenamente el asiento del jinete, y esto debe haber hecho peligroso, con frecuencia, el uso de la espuela. Las herraduras, aparte de un tipo que se ataba al casco cuando el suelo estaba resbaladizo, no parecen haber sido corrientes en los países civilizados mucho antes del siglo I a.C., época en que los romanos adoptaron parcialmente ligeras herraduras de hierro, con agujeros para los clavos en un lado y los extremos libres vueltos hacia abajo para agarrar mejor. Entre los celtas y otros pueblos que tuvieron contactos con

Oriente, las herraduras fueron conocidas mucho antes, pero el uso regular de herraduras pesadas en Europa fue una innovación medieval.

La presión de las riendas sobre el bocado fue muy importante desde los primeros tiempos para el control del jinete sobre su caballo. Los primeros bocados de bridón tenían dos eslabones. Fueron sustituidos más tarde, generalmente, por bocados de tres eslabones, para que fuera menos fácil que el caballo cogiera el bocado entre los dientes; es probable que el bocado estuviera a menudo ásperamente labrado. Las maniobras de las formaciones de caballería condujeron al desarrollo de una forma simple de bocado de barbada, una anilla de metal bajo la barba, de la que se podía tirar hacia arriba y hacia adelante por medio de una rienda. Más tarde los romanos comenzaron a utilizar una barbada o reborde dentro de la boca del caballo, que podía ser presionada contra el paladar, con el mismo objeto de obligarle a subir la cabeza para pararlo de forma efectiva. Pero el estribo de metal, que permitía al jinete asegurarse para la carga, no se vio en Europa hasta el siglo VI d.C., cuando los ávaros vinieron a caballo desde las impracticables mesetas asiáticas.

Mientras tanto, la rueda engendraba el camino. Se sabe que existieron algunos trozos de caminos pavimentados en los antiguos Mesopotamia, Egipto y Creta, y el efímero Imperio persa emprendió la pavimentación de partes de su famosa red de caminos, que se usaban como rutas postales. Pero el primer gran sistema de calzadas (p. 244), proyectado originalmente por los romanos como un instrumento de conquista, no pudo conseguir que el carro, y menos la pesada galera de cuatro ruedas, compitieran con el barco. En el tiempo del emperador Diocleciano el transporte terrestre de una carga de heno durante 50 km doblaba su coste, mientras que el transporte de un barco cargado de trigo por todo el Mediterráneo sólo aumentaba un cuarto el precio. Así, aunque los caminos permitieron extender el poder e in-

fluencia de Roma mucho más allá del territorio que circunda el Mediterráneo, durante todo el período clásico la vida civilizada continuó dependiendo principalmente de los barcos que seguían la senda de Ulises «por el mar, oscuro como el vino».

Ya en los tiempos de Homero el barco de guerra y el barco mercante habían llegado a diferenciarse. El barco de guerra era de construcción ligera, y estaba propulsado principalmente por remos, aunque no está todavía claro si términos como trirreme y quinquirreme en las descripciones de sus formas posteriores más complejas se refieren a múltiples filas de remos o a una multiplicación de remeros en cada remo. Ambos, el barco mercante y el de guerra (fig. 82), tenían una quilla bien desarrollada, y estaban construidos con juntas a tope, es decir, la tablazón, que se aseguraba con cabillas de madera, se unía por sus extremos sin ponerse una tabla sobre otra; pero el barco mercante era de fondo ancho, parcialmente cubierto, y tenía cañizos de protección en el bajo combés. Además, el barco mercante contaba sólo con su vela cuadrada, puesta sobre un único mástil, por la sencilla razón de que el flete mal habría permitido nunca el pago de remeros, ni siquiera la adquisición y mantenimiento de una tripulación de esclavos.

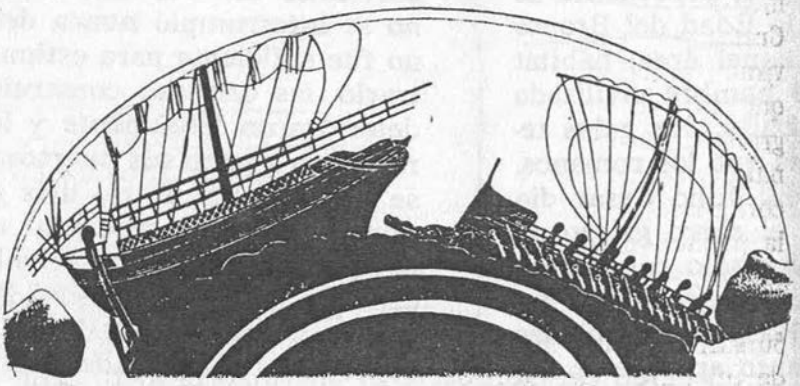


Fig. 82. Barco mercante de vela y galera de guerra —al parecer un birreme— griegos. De un vaso del siglo VI a. C.

Fue sencillamente natural que el establecimiento del Imperio romano, que trajo la paz a toda el área del Mediterráneo, fuera acompañado de grandes desarrollos en las embarcaciones de este mar. Los romanos defendían los mares con galeras de guerra construidas sólidamente. Estaban propulsadas por remos colocados en dos filas, aunque un pequeño mástil muy delantero hacía posible usar la vela para alejar el barco en caso de necesidad. Disponían de un espolón, pero su equipo de batalla más importante era un portalón basculante y guarnecido de púas, que podía bajarse para atacar al enemigo al abordaje. Hay razón para creer que el tipo más pesado de galera de guerra romana era tan grande como uno de los navíos de línea de Nelson, aunque de construcción más ligera: no tenía que llevar armamento más potente que la catapulta, ni tenía que habérselas con el oleaje del Atlántico. Puesto que el emperador Calígula poseía una galera de placer de no menos de 135 m de eslora, parece seguro deducir que el único obstáculo a que las galeras de guerra romanas fueran considerablemente mayores era que no tenían enemigo tecnológicamente igual contra el que construirlas, aunque el uso de la madera como material estructural imponía algún límite (páginas 303, 539).

Pero el gran barco de carga era esencial a la vida de Roma: proporcionó motivo para muchas esculturas de piedra que aclaran su carácter. El casco se construía muy sólidamente, con tres o más cintas protectoras, y se redondeaba como el de los modernos barcos pesqueros de rastreo de vela, siendo la eslora del barco 3 y 1/2 o 4 veces su manga. La popa debía elevarse bien con mar de popa, y únicamente los dos timones, uno a cada lado del barco, parecen toscos a los ojos de hoy. Existía un palo mayor en medio del barco y un palo de trinquete a proa, ambos muy inclinados hacia adelante, con una vela cuadrada en cada mástil y una o dos gavias sólo en el palo mayor. De proa era más bajo que cual-

quier barco de vela moderno, pero esto era debido a que la práctica general consistía en navegar principalmente viento en popa y confiarse a la providencia para escapar de tormentas tales como la que hizo naufragar a San Pablo en Malta. Una vez llegados a su destino, los cargamentos más pesados eran distribuidos con frecuencia tierra adentro por barcazas; el grano para Roma, por ejemplo, se remolcaba de este modo con bueyes, desde la desembocadura del Tíber. El mundo antiguo tenía un tipo corriente de barcaza de río, sin quilla, con un suelo plano, formado por media docena de tablones anchos y gruesos, clavados a grandes cuadernas, y éstas, a su vez, sujetas fuertemente a una línea gruesa de tablazón interior por encima del nivel del agua. Se cree que barcas de este tipo, de las que deriva la moderna barcaza, habían estado transportando piedra y, sin duda, otros pesados materiales de construcción a lo largo de los ríos de Europa mucho antes de los tiempos de los romanos.

En realidad, sería de lo más imprudente suponer que en el período de las civilizaciones clásicas el mundo bárbaro se quedó necesariamente atrás en lo que se refiere al transporte. Lo más probable es que el carro de ruedas con rayos, tirado por caballos, que encontramos por primera vez en Mesopotamia, viniera originariamente a esta región procedente de alguna inidentificable cultura de la Edad del Bronce de las estepas. Ciertamente fue aquel área, hábitat del caballo salvaje, de la que el hombre civilizado aprendió el arte de montar a caballo: los galos tenían herraduras varios siglos antes que los romanos. Tenemos también el hecho, al cual Julio César dio publicidad tan duradera, de que el carro griego de dos ruedas, que los romanos usaron sólo para carreras y fines procesionales, había experimentado un asombroso desarrollo entre los celtas, contra quienes él luchó. La clase de carro que tanto aparece en *De bello gallico* era una obra maestra de ebanistería, forja y esmalte. Una realización de los celtas aún más

sorprendente, antes de su conquista por Roma, fue un tipo de galera de cuatro ruedas cuyo delantero estaba montado sobre un eslabón giratorio: éste precede al menos en trescientos años a la aparición entre los romanos de una innovación aún mucho más sencilla, conocida en China desde hacía mucho tiempo, a saber: el uso de las varas. Estas las vemos por primera vez en una escultura de un pequeño carro para niño hallado en una ciudad provincial del siglo III d.C. En cuanto a las embarcaciones, fueron también los bárbaros del norte de Europa quienes desarrollaron la disposición de tingladillo, es decir, la construcción de una serie de tablones superpuestos sujetos por clavos de hierro remachados, aunque tardaron mucho en adoptar el principio de la quilla, de la que depende principalmente la resistencia y estabilidad de un barco.

EL TRANSPORTE EN LA EDAD MEDIA

La caída del Imperio romano en Occidente significó que la vida en Europa occidental se hizo, durante un largo período, descentralizada, localizada y limitada, lo mismo en perspectivas que en relaciones físicas. El comercio entre una región y otra —en particular las valiosas importaciones del Oriente— no se interrumpió nunca del todo, pero su volumen no fue suficiente para estimular la economía. Al contrario, las calzadas construidas por los romanos se deterioraron lentamente y los sedimentos obstruyeron poco a poco sus puertos artificiales (p. 249). Pero se sostiene que el uso más generalizado de la herradura de hierro constituyó un importante paliativo, porque permitió a los caballos de carga abordar los caminos más escabrosos. Donde no podían trepar cuatro patas, era posible utilizar siervos o esclavos como porteadores. Además, las instalaciones y servicios portuarios importaban menos de lo que podría suponerse en una época cuyo comercio era en gran

parte conducido por barcos pequeños, que viajaban regularmente por ríos pequeños. Los peligros de la guerra y la piratería no alentaban la realización de intercambios distantes a gran escala: en realidad, el primer avance tecnológico importante del período tuvo lugar en el arte de la guerra más bien que en el de la paz.

Probablemente se ha escrito demasiado sobre el barco vikingo, por el deseo de compararlo no con las embarcaciones de Europa occidental, sino con la flota bizantina de guerra, pues ésta era la genuina heredera de la tradición mediterránea de construcción naval. Sin embargo, si aceptamos que el barco de Gokstad (fig. 83) era el barco noruego típico de alrededor del año 800, resulta que los vikingos de aquella época eran tan hábiles como belicosos y aventureros.

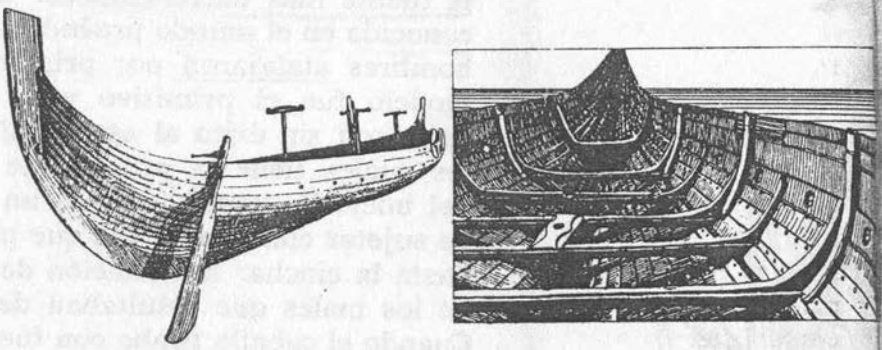


Fig. 83. El barco de Gokstad, año 800, aproximadamente, después de su restauración.

El barco tiene una verdadera quilla, remo único de gobierno con empuñadura para la caña del timón, roda y codaste bien lanzados, dieciséis portillas para los remos abiertos en cada costado y vela cuadrada para ser aparejada en un único palo en el centro del barco. Es todo de tingladillo, ligero y boyante y, como el nombre de «barco largo» sugiere, la eslora constituía una característica notable, siendo al menos cinco veces superior a la manga. En el curso de

dos siglos estos barcos crecieron hasta llegar a tener treinta, y aun sesenta, remos a cada lado, y en ellos hicieron los vikingos sus incursiones, sus conquistas y sus exploraciones a territorios remotos, desde los ríos rusos a la costa americana.

Pero los constructores de las embarcaciones de guerra vikingas no tenían monopolio de invención. Los irlandeses habían arrostrado las aguas del Atlántico antes que ellos en barcos cubiertos de cuero, de los que prácticamente no quedan detalles. Existe también la posibilidad de que los «barcos largos» construidos por el rey Alfredo no fueron meramente trabajos de imitación, sino que derivaron del conocimiento de la construcción naval romana. Además, las sagas parecen indicar que para fines comerciales los mismos vikingos preferían un tipo diferente de barco; en todo caso, los barcos mercantes de la Baja Edad Media se basaban en otros modelos completamente distintos de los suyos. En el siglo XIII hace su aparición en las aguas del norte un barco de vela de mucha manga, llamado *cog* (fig. 84), que satisfacía la demanda de flete barato para géneros voluminosos, principalmente de bajo precio. Este era de tingladillo, con una sola vela cuadrada, y se cree que fue una ampliación del «barco redondo», que había estado mucho tiempo en uso en el comercio del mar del Norte.

Mientras tanto, dos importantes inventos, ambos de origen oriental, se pusieron de moda por primera vez en las galeras mediterráneas, usadas tanto para la guerra como para el transporte de artículos pequeños, pero costosos, como las especias de Levante. La vela latina fue la primera vela triangular de proa a popa, cuyo uso hizo posible que el barco diera bordadas hacia barlovento. Se cree que la trajeron los musulmanes de Asia sudoccidental: se halla en barcos griegos del siglo IX y en italianos del siglo XI, y a partir de entonces se generaliza en todas las costas europeas. La segunda innovación importante la constituyó el timón de codaste, siendo rebajada la alta

popa tradicional y abierta una portilla en ella, a través de la cual pasaba la caña del timón desde la cabeza del mismo a la mano del timonel. Esto, naturalmente, procuró mayor precisión a la navegación y facilidad de viraje, y quizá podemos conectarlo con las empresas de los genoveses, quienes al principio del siglo XIII empezaron a emprender viajes regulares de invierno, y antes de terminar el siglo habían inaugurado una ruta marítima entre los puertos italianos y los del mar del Norte.

La utilización de la brújula comenzaba a ser corriente por entonces; parece haber empezado hacia el final del primer milenio, y una tradición primitiva la conecta con Amalfi. Originariamente, la aguja de marear fluctuaba sobre paja, dando una tosca indi-

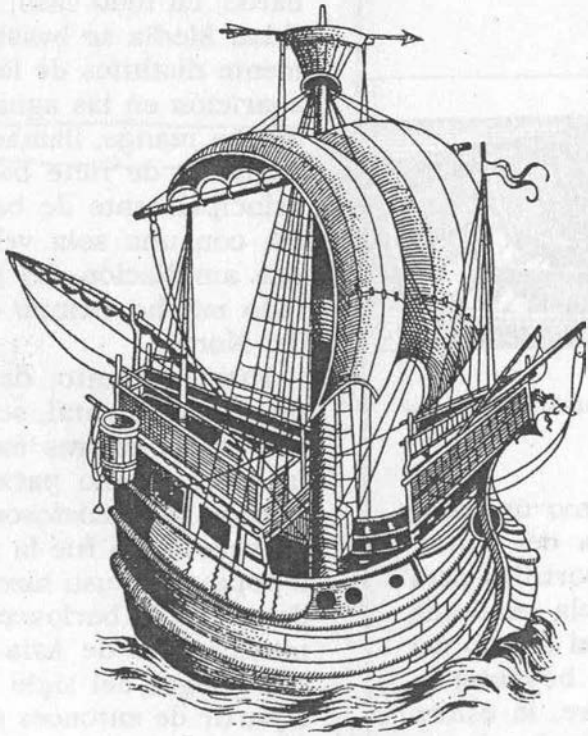


Fig. 84. *Cog* hanseático.

cación de la dirección, pero hacia 1269 a más tardar empezó a montarse sobre un eje. Se habían hecho cartas de navegación para el Mediterráneo y el mar Negro; 1270 es la fecha en que el uso de una carta a bordo de un barco ha sido registrada por vez primera. En el siglo XIV el señuelo del comercio del Báltico ocasionó que el paso rodeando el cabo de Skagen hasta el estrecho de Sund quedara establecido como la primera ruta regular en mar abierto.

Mientras tanto, la Edad Media central había visto la generalización de la principal mejora en el transporte terrestre, comparable al uso de la vela latina en el mar. Sus orígenes son también parcialmente romanos y bizantinos, aunque tiene además una importante influencia, difícil de seguir, de modelos originados más al este. La fuerza motriz del caballo, como nuestro uso moderno del término implica, fue la fuente más universalmente disponible de energía conocida en el mundo pre-industrial; pero cuando los hombres atalajaron por primera vez el caballo, su modelo fue el primitivo yugo de los bueyes, que aplicaron sin éxito al asno y al caballo, ninguno de los cuales tiene la prominente y poderosa espalda del buey. De aquí el uso de un petral, que trataron de sujetar con una correa que pasaba entre las patas hasta la cincha: la irritación de la piel era el menor de los males que resultaban de este procedimiento. Cuando el caballo tiraba con fuerza, debía producirse una presión sofocante sobre la tráquea y una compresión de la sangre en las venas del cuello. Los antiguos tenían un conocimiento limitado de la anatomía, y aunque se hicieron varios experimentos para mejorar los arreos, particularmente bajo el Imperio romano, el tipo moderno de arreos de caballo no llegó a ser usual en Europa hasta el siglo XII.

Hubo tres mejoras principales. Las varas, que podían ser bien enganchadas bajo el petral, sólo ocasionalmente habían sido usadas en vehículos por los romanos; en ese momento se hicieron corrientes. Los tirantes, que habían sido utilizados con alguna exten-

sión por los griegos y los celtas, servían lo mismo que las varas para llevar la presión hacia el medio del petral. Cuando se generalizaron en forma de cuerdas, llegó a constituir una práctica regular, inexistente antes de la Edad Media, el uso de los troncos de animales de tiro del modo más efectivo, es decir, en fila (fig. 85). Pero la transformación más vital fue la del petral en collera, rellena y rígida.

Fig. 85. Carro de dos ruedas. Del Salterio de Luttrell.

Cuando se introdujo ésta en el curso de los siglos XII y XIII, se multiplicó por cinco la fuerza de tracción efectiva del animal.

De este modo el caballo empezó a hacer valer sus méritos. El tipo moderno de caballo de carro fue criado por primera vez en Francia en este tiempo, siendo su servicio originario llevar al caballero medieval con toda su armadura, una pesada carga. El uso de la collera permitió sustituir al buey por el caballo en el arado, si bien muy gradualmente. De forma más inmediata, el galerero y el carretero llegaron a ser figuras claves en la vida de la época, aunque esto no sucedió porque los propios vehículos hubieran mejorado notablemente: la carretilla fue la única innovación medieval notable. Incluso un invento tan útil como el eje delantero giratorio, usado en otros tiempos por los celtas, parece haber estado completamente olvidado hasta su resurrección en el siglo XV. No fue hasta entonces cuando se mejoró la rueda, «deprimiéndola» —es decir, dándole forma

cóncava— para conseguir mejor equilibrio. Lo más notable es la eficacia de la tracción por el caballo. En Inglaterra, lo que se ha llamado la «reserva campesina de carros» hizo posible asegurar el transporte a un penique por tonelada y milla en cualquier caso normal en que el viaje de retorno pudiera hacerse dentro del día. Conforme los puentes llegaron a ser más numerosos, el transporte terrestre pudo incluso, en circustancias favorables, competir con el transporte por agua (entre Southampton y Londres, por ejemplo, para evitar doblar la peligrosa costa de Kent; o para las importaciones de grano de las ciudades de la Hansa alemana, cuando la ruta normal se vio afectada por altos peajes fluviales. Pero la velocidad continuó siendo muy baja: cuando en 1375 el rescate del rey de Escocia tuvo que ser llevado a toda prisa al sur, a Londres, viajó a no más de 58 km por día.

EL PERIODO DE LOS GRANDES DESCUBRIMIENTOS GEOGRAFICOS

Se cree que en la Edad Media los costes de transporte representaban una proporción más pequeña de los costes totales que hoy día; en otras palabras, la revolución industrial ha producido relativamente mayores economías en la producción que en el transporte. Si esta visión de las condiciones medievales es correcta, ayuda a explicar la persistencia de la empresa comercial en Europa aun bajo las desalentadoras circunstancias de los primeros tiempos de la Edad Media y la riqueza de actividad comercial que caracteriza el siglo XIII y principios del XIV. Fue, con todo, a mediados del siglo XV, después de un largo período de comercio declinante, cuando surgió casi de repente el barco aparejado de fragata, el primer barco apto para los grandes viajes de descubrimiento y el nuevo comercio transoceánico.

El barco mercante del norte, el *cog* (p. 289), había

sido imitado en el sur de Europa, de modo que el nuevo barco, que provenía de éste, la carraca, parece un tipo que no es ni enteramente del norte ni del sur. Sus claros antecedentes son las pequeñas carabelas portuguesas, barcos aparejados con vela latina y dos o tres palos, que Enrique el Navegante, hacia 1415, envió a realizar los primeros viajes de exploración de la costa africana. Como los constructores de barcos de la región en torno a Bayona intervinieron activamente en el desarrollo de los nuevos rasgos distintivos, se ha propuesto llamar a la carraca un barco «atlántico». La imagen de fecha más antigua de una carraca plenamente desarrollada se encuentra en un sello francés de 1466: muestra lo que es esencialmente un moderno barco de vela.

La carraca (fig. 86) estaba construida a tope, conforme a la práctica del sur (p. 284); pero el timón colgaba del codaste, como en el norte, y la caña del timón pasaba dentro del casco del barco a través de una abertura encima del nivel de la cubierta principal. Tenía un castillo de proa o cubierta en la alta proa, y dos o más cubiertas se levantaban detrás, en la popa. Aunque el combés era comparativamente bajo, el casco tenía suficiente sitio para carga, pertrechos, armamento y tripulación. Crecieron rápidamente de tamaño: hacia 1500 los barcos de 600 toneladas estaban empezando a ser muy corrientes, y el barco de Enrique VIII, la Gran Carraca, más conocida por su nombre posterior de *Henry Grâce à Dieu*, fue originalmente un barco de 1.500 toneladas, que llevaba 195 bocas de fuego y 900 hombres.

Los tres o cuatro palos —pues un segundo palo de mesana llegó a ser pronto muy corriente— portaban diversas velas. El palo mayor tenía una gran vela mayor cuadrada y una pequeña gavia sobre el ligero mastelero, que izaba las drizas y amantillos para la gran verga de la vela cuadrada. El palo de trinquete, que era más corto y ya no estaba lanzado hacia adelante, llevaba una segunda vela cuadrada. Estas dos eran las velas de dirección o «papahigos».

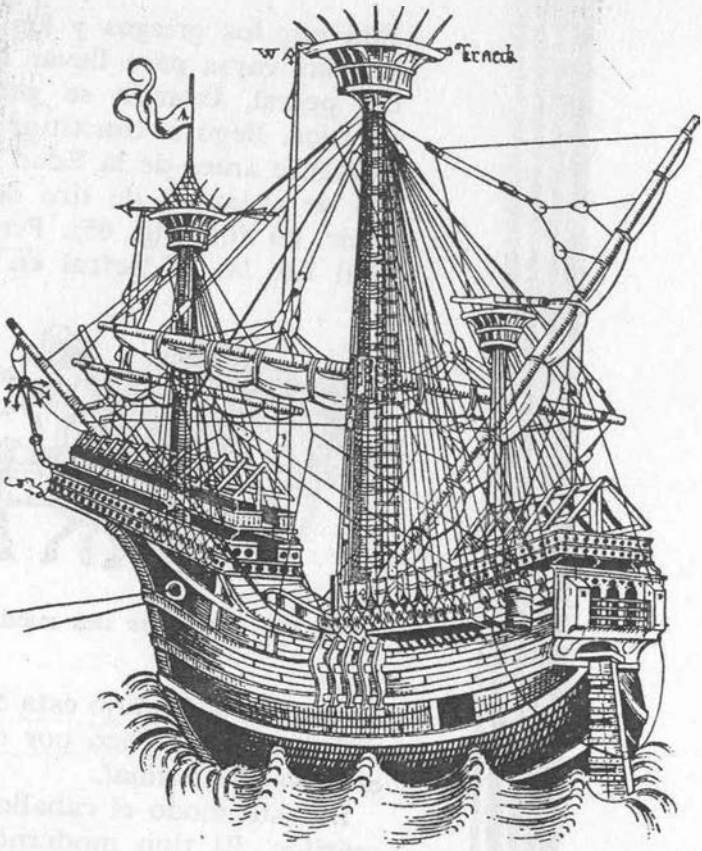


Fig. 86. Carraca de tres palos. De un grabado de finales del siglo XV.

El palo o palos de mesana tenían velas latinas longitudinales, y había también una cebadera sobre el bauprés. Estas velas más pequeñas en los dos extremos del barco podían ser recogidas o desplegadas fácilmente, y eran en especial útiles para maniobrar en aguas estrechas.

El buque aparejado de fragata que hemos descrito era en ese momento el barco *par excellence:* en una lista de la armada de Enrique VIII hecha en 1546, «barco» significa «carraca». Hacia 1550 la gran galera comercial, en la que Venecia se había especializado,

estaba dejando de ser lucrativa. Su puntualidad, posible porque se usaban los remos cuando no hacía viento, no pudo salvarla, ni siquiera para cargamentos costosos. Pero la galera de guerra impulsada por remeros esclavos, que llevaba cañones y velas, sobrevivió mucho más tiempo en aguas mediterráneas. Cuatro de ellas se presentaron en el canal de la Mancha con la Armada Invencible, sólo para ser derrotadas por el mal tiempo inglés. Existía también el galeón, que merece ser descrito por ser uno de los primeros tipos de barco de vela que pueden ser considerados primariamente como barco de guerra. Aunque los lectores de Charles Kingsley piensen instintivamente en los galeones españoles, en realidad fueron un invento portugués, y un galeón inglés, el *Ark Royal,* era buque insignia en el año de la Armada.

Los galeones estaban aparejados como otros grandes barcos de vela de la época, pero su eslora era unas cuatro veces superior a su manga. Tenían también más bajos los castillos de proa y popa, lo que, junto a su relativa angostura, los hacía rápidos, aunque la reducción de los castillos los hacía también más vulnerables al abordaje. Pero la principal diferencia con el barco comercial era que el galeón, al no necesitar espacio para el cargamento, estaba dotado de una batería que podía soportar un pesado conjunto de cañones, que disparaban por troneras en los costados del barco. Así el combate naval dejó de ser una cuestión de abordaje con el espolón o lucha cuerpo a cuerpo con el enemigo. En la nueva época de la andanada, los barcos de guerra aprendieron a guardar las distancias, pero el uso victorioso del armamento dependía todavía de la velocidad y de la maniobrabilidad.

Los viajes oceánicos en mayores y mejores barcos fueron a la vez causa y efecto de una mejora de los métodos de navegación, que había sido innecesaria mientras los barcos podían hallar su rumbo satisfactoriamente por marcaciones a lo largo de la costa mediterránea y el litoral noroccidental de Europa. El

uso de la brújula y las cartas de navegación, de la estima y el sondeo, ya no era adecuado para tareas tales como las que el príncipe Enrique el Navegante imponía cuando ordenaba a sus barcos viajar proa al sur y en una latitud dada virar en ángulo recto para avistar la costa de Africa. Lo esencial del problema estribaba en cómo adaptar los instrumentos astronómicos, que en formas tales como el astrolabio estaban ya altamente desarrollados, a su utilización por los marinos en las condiciones de a bordo, permitiendo así determinar la latitud. Las fechas de los inventos son muy inciertas, puesto que los marinos rara vez eran escritores, pero existe la evidencia de que el cuadrante de mar fue el primero; el relato más antiguo tiene fecha de 1456-1457. Desde el limbo grabado el navegante medía el ángulo de elevación de la estrella polar, observada a través de agujeros muy pequeños, mediante un hilo de plomada que pasaba sobre una escala grabada. La medición se corregía por referencia a la cambiante posición de las Guardas, dos estrellas de la Osa Menor. El movimiento circular de las Guardas había sido utilizado mucho tiempo para el cronometraje, y al principio del siglo XVI se facilitó éste gracias a un instrumento llamado nocturlabio o nocturnal, que se regulaba para indicar el número de horas antes o después de la medianoche. La latitud se determinaba también observando la altura del sol a mediodía y haciendo la necesaria lectura de una tabla impresa de las altitudes solares diurnas.

Otros dos instrumentos que parecen haberse obtenido poco después del cuadrante fueron el astrolabio de mar, una versión del instrumento astronómico, difícil de manejar para observadores inexpertos, y la ballestilla, ambos usados para obtener la altitud. La ballestilla era el instrumento más sencillo y barato, particularmente útil en latitudes más bien bajas, y más apto para determinar altitudes estelares que solares. Se hacía resbalar una sonaja a lo largo de un virote hasta que un extremo cubría el horizonte y

el otro apuntaba la estrella o el sol: la altitud se podía leer entonces en las graduaciones del virote. Desde 1595 empezó a ser reemplazada por la ballestilla de John Davis, conocida fuera de Inglaterra como cuadrante inglés, instrumento más preciso, que contaba entre sus ventajas la de que el usuario volvía la espalda al sol, y así le deslumbraba menos. A navegantes ingleses de unos pocos años antes debemos también la introducción de la corredera, la primera contribución inglesa importante al arte de la navegación. La corredera consistía en una tabla de madera que se arrojaba desde la popa del barco; el cordel que la sujetaba tenía una serie de nudos, situados a intervalos de 7 brazas. Cada nudo largado desde el carretel en un período de medio minuto, medido por un reloj de arena, representaba una velocidad de una milla marina por hora. Había que hacer observaciones siempre que el viento cambiaba, y estas observaciones se anotaban en un libro, llamado más tarde cuaderno de bitácora.

Aunque su precisión era entonces, y en realidad todavía lo es, incierta, la variación secular de la posición del polo norte magnético fue registrada hacia 1702, y como consecuencia de ello pudo medirse con exactitud la marcha de un barco. Este hecho, junto con el desarrollo de la corredera, hizo posible la navegación por el método de estima, en el que la dirección y la distancia se registran sistemáticamente en una carta. Aunque este método tiene serias limitaciones —en particular las que resultan de la deriva lateral—, fue, y continúa siendo, de la mayor importancia, pues en un barco en el mar puede muy bien ocurrir que no se puedan hacer observaciones celestes durante días, e incluso semanas enteras. El problema de determinar la longitud en el mar, sin embargo, quedó todavía sin resolver, pues dependía del perfeccionamiento de un cronómetro realmente exacto que fuera lo bastante fuerte para funcionar cabalmente a bordo.

En Inglaterra, los progresos contemporáneos en el

transporte interior fueron mucho menos sensacionales; quizás el más importante fue el aumento del número de canales y el perfeccionamiento de la navegación fluvial (pp. 270-271). La galera de cuatro ruedas, que en la Inglaterra medieval se había usado principalmente como carruaje ocasional de los grandes señores, se hizo en este momento de uso más generalizado, como lo era desde hacía tiempo en el continente, constituyendo la galera de 4 toneladas de los transportistas un espectáculo corriente en los caminos de la época de Shakespeare. Más tarde creció de tamaño, pero la de 4 toneladas subsistió, y sirvió de modelo para la galera usada en las grandes granjas de los reformadores del siglo XVIII (p. 106). Un antecedente de un futuro aún más distante fue la aparición, en la próspera industria minera continental, un poco antes de 1550, de raíles de madera para facilitar el acarreo de las vagonetas excesivamente cargadas.

De más inmediata importancia, por lo menos para las clases aristocráticas de la sociedad, fue el coche de caballos, que se supone introdujo en Inglaterra en 1564 un holandés que llegó a ser cochero de Isabel I. El nombre, que es común a la mayoría de las lenguas europeas, viene del pueblo de Kocs, en el noroeste de Hungría, pero se ignora si las características del coche fueron realmente inventadas en Hungría. La galera cubierta fue empleada en la Edad Media y antes, pero el coche de caballos fue desde un principio menos molesto para el viajero, aunque quizá no menos cansado, por tener la caja suspendida de correas. También tenía un *bogie* o juego giratorio: es decir, el eje delantero estaba unido al chasis por un pivote, invento que ha sido resucitado por las máquinas de guerra en el siglo pasado.

Los primeros coches que bregaron por los fangosos caminos utilizaron en la práctica a postillones provistos de látigos, tal como pueden verse ocasionalmente a caballo en los desfiles estatales de nuestro tiempo; habían sido empleados en vehículos más

humildes desde los siglos XII y XIII. La palabra «postillón» era, sin embargo, originalmente el nombre del mozo de postas, que cabalgaba con despachos oficiales y otros documentos de posta a posta o de parada en parada por las carreteras de Inglaterra y el continente. Los caballos usados para este fin, que en casos de urgencia podían mantener una velocidad media de unos 16 km por hora, podían ser alquilados también por personas particulares.

EVOLUCION DESDE 1600 A 1750

El aumento de la riqueza, del comercio, de la población y de las colonias en el siglo y medio siguiente (1600-1750) no se vio acompañado por ningún avance particularmente sensacional en los medios de transporte. La duración de un viaje ordinario a través del Atlántico no llegó a ser apreciablemente más corta, ni el tiempo de un gran recorrido continental llegó a ser muy diferente. Un barco inglés u holandés de los que hacían el comercio con las Indias Orientales, orgullo de sus respectivas flotas, sería difícil, aun en los días de Clive, que excediera de 800 toneladas; tales barcos novegaban durante una generación o más, viajando 16.000 km al año sin descargar la bodega y llevando armamento suficiente para proteger barco y carga en aguas no patrulladas. Los barcos de línea, sin embargo —los «grandes barcos» del diario de Pepys—, fueron ampliados para llevar más cañones, relegando todas las otras tareas menores a las fragatas más pequeñas y veloces, que no podían arrastrar las andanadas del enemigo en una batalla. Por lo tanto, la construcción de los grandes barcos de guerra, tales como el *Soberano de los Mares,* de 1.500 toneladas, que construyó Carlos I de Inglaterra con el impuesto de defensa naval, dio a los constructores de barcos en todos los principales países navales la oportunidad de desarrollar nuevos inventos,

que fueron aplicados más tarde a los barcos mercantes.

En general, se prefirieron las líneas más largas y bajas del galeón. Se hizo normal la cubierta rasa, corrida de extremo a extremo del barco sin superestructuras, y, como la toldilla rebajada hacía que el barco cabeceara menos con mar gruesa, llegó a constituir práctica común dotarlo de galerías y ventanas para mejorar la acomodación en la popa. Cabrestantes, bombas de cangilones, cocinas de a bordo y coyes llegaron a constituir rasgos distintivos comunes de los barcos de este tiempo, pero la principal innovación —llevada más lejos, naturalmente, en los barcos de guerra— se realizó en el tamaño de los palos y la envergadura de las velas. La adición de un cuarto palo no llegó a ser muy frecuente, pero en los barcos grandes cada uno de los tres palos tenía un mastelero y un palo de juanete encima de él, y el trinquete y el palo mayor tenían también sobrejuanetes (demasiado cortos, para ser mastelerillos de juanete), reuniendo once piezas de arboladura en total, como en el *Soberano de los Mares*,

> A cuyo intrépido y altísimo sobrejuanete nada impide,
> De día rozar el sol, de noche las estrellas.

El área del velamen fue aumentada, poniendo velas triangulares de proa a popa sobre los estayes entre los palos, y también se añadieron alas para aumentar el área de las velas cuadradas en el buen tiempo. Un barco de guerra construido a tal escala requería la tala de unos 2.000 robles: 20 ha de bosque, que no volverían a producir hasta un siglo después por lo menos. Incluso la botadura de barcos tan pesados desde los diques secos, en que solían construirse, presentaba grandes problemas, como igualmente su carena posterior para quemar y quitar raspando las acrecencias marinas, y para su reparación (fig. 87).

Los barcos se diseñaban muy cuidadosamente en una gran sala de gálibos, sobre cuyo suelo podían

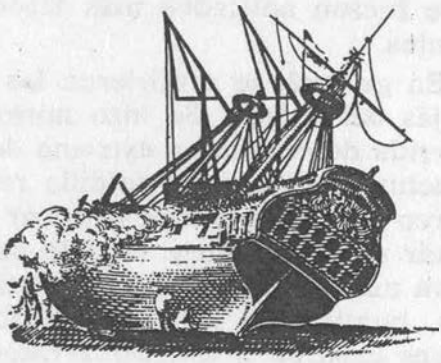


Fig. 87. Carena en Batavia. De una pintura holandesa de 1699.

obtenerse sin reducción las secciones para las cuadernas. Los dibujos originales los hacía el maestro-constructor de embarcaciones en su mesa (Fig. 88), generalmente a escala de 1/50; cada curva de la cuaderna era luego trasladada en tamaño natural al suelo de la sala de gálibos con la ayuda de grandes compases graduados, llamados *sweeps*. Aunque el creciente interés por las matemáticas y la ciencia ayudó indudablemente a formular las proporciones y la envergadura de las velas para los diseños, los

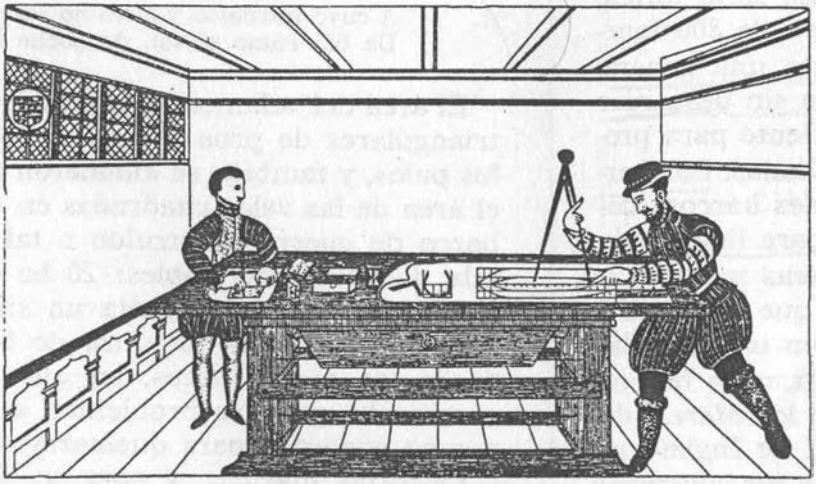


Fig. 88. Diseñador de barcos de la época Tudor trabajando, según un manuscrito inglés de fines del siglo XVI.

métodos siguieron siendo casi enteramente empíricos; se considera que Sir Anthony Deane, contemporáneo de Pepys, fue el primer arquitecto naval que pudo calcular anticipadamente la profundidad exacta del agua requerida para poner a flote un nuevo barco. La mayoría de los barcos se basaban de hecho en la cuaderna maestra de algún barco de notable éxito construido previamente por la misma firma o individuo, tal como figuraba en las cuidadosas maquetas —de las que subsisten aún muchos ejemplos— que los constructores en tiempos antiguos preferían con frecuencia a un plano como guía para su trabajo.

Los barcos del siglo XVIII los conocemos también en muchos casos por los planos que subsisten. La rueda del timón se introdujo hacia 1705; las gavias se hicieron mayores en comparación con los papahigos, y un nuevo tipo de vela, conocido como foque, sustituyó a la cebadera en la proa. Más interesante es el hecho de que el barco grande estaba llegando a ser de tipo internacional, aunque los holandeses se construían aún más bajos y anchos, para salvar el Zuiderzee. Esta tendencia hacia la normalización resultaba de la casi perfecta adaptación del diseño a la función que se había conseguido en ese tiempo en el barco de vela.

Mientras el principal material de construcción fue la madera, no se pudieron construir barcos de más de 2.000 toneladas. Pero sólo el barco de línea, seguido a considerable distancia por el barco mercante ocupado en un comercio distante y peligroso, aspiraba a este máximo. La mayoría de la marina mercante de todas las naciones marineras estaba formada por embarcaciones mucho más pequeñas: hasta 1800 el tonelaje medio de los barcos mercantes ingleses no fue mayor de 100 toneladas. En esto, como en el diseño de sus flotas pesqueras (p. 97), los holandeses llevaron la delantera durante mucho tiempo. En la primera mitad del siglo XVII el *fluitschip* efectuaba los transportes comerciales a un precio del 30 al 50

por 100 más barato que ingleses y franceses, y cuando se promulgaron las *Navigation Acts*, el «filibote» o «flauta» se hizo inglés por medios tortuosos para trabajar en gran número bajo propiedad y bandera inglesas.

Este *tour de force* de la construcción naval holandesa representaba una combinación de factores favorables. Los costes de construcción se reducían gracias al uso general de bajos tipos de interés en Holanda y al bien consolidado dominio holandés del mercado de la madera y de otros pertrechos de los barcos en Noruega y los países bálticos. El uso de serrerías mecánicas movidas por viento y de grandes grúas ahorraba trabajo; estas grúas impresionaron particularmente a los emisarios de Colbert. Por encima de todo estaba la destreza en la adaptación del barco a su función que los holandeses habían obtenido al tener que habérselas con sus propios problemas de navegación interior: tenían treinta y nueve tipos de barco de río y de canal. Esto les permitía diseñar un barco con una gran cala; líneas estrechas y cuadernas ligeras (200 a 500 toneladas era la capacidad normal); tres palos cortos; e inclinación del costado hacia dentro para reducir el volumen y la resistencia al viento encima de la línea de agua. Salvo accidentes, a los que eran algo propensos, estos barcos eran tan rápidos, en comparación con tipos más ortodoxos, como para hacer posible un viaje extra al Báltico dentro del año de navegación; además, como tenían un aparejo simplificado y no llevaban cañones, se podían manejar con menos de la mitad de tripulación.

El progreso de la ciencia trajo consigo diversos perfeccionamientos en el equipo del marino. Quizá podemos incluir bajo este capítulo la obra del astrónomo Edmond Halley, que en 1688 publicó la primera carta náutica de los vientos alisios y monzones, y en 1699-1702 registró también la declinación magnética de la brújula. Este fue el primer mapa isométri-

co, que fue revisado dos veces en el siglo siguiente, cuando se dispuso de mejores observaciones. El cuadrante y la ballestilla fueron grandemente mejorados por un método, anticipado por Isaac Newton, que fue probado por John Hadley ante la Royal Society en 1731. Este método usaba un octante, en el que la imagen del sol o de una estrella era reflejada por un espejo o un segundo espejo ya alineado con el horizonte; la observación angular de la altitud se hacía por un telescopio que se movía sobre una escala graduada de 45°. Una gran ventaja del octante era que no le afectaba el movimiento del barco. Varias pruebas del Almirantazgo en 1732 demostraron que el instrumento de Hadley tenía una exactitud de no menos de 2'. Simultánea e independientemente, Thomas Godfrey, de Filadelfia, inventó un instrumento similar, mientras Caleb Smith, en Inglaterra, diseñaba uno que utilizaba prismas, en vez de espejos, característica valiosa, en vista de la escasez de buenos espejos, aunque su diseño era inferior en otros aspectos al de Hadley. El octante se transformó en el moderno sextante, al prolongarse la escala hasta 60°.

Mientras tanto, la extrema importancia del problema de determinar la longitud en el mar había sido acentuada por la constitución del Board of Longitude en Inglaterra, facultado para conceder un premio de 20.000 libras a «la persona o personas que hallaren la forma de medir la longitud en el mar». Esto sucedió en 1714, siete años después del desastre ocurrido a la flota inglesa frente a las islas Scilly, en el que se creyó que la pérdida del buque insignia con toda la tripulación había sido debida a la incapacidad del jefe de la flota para fijar su longitud. Pero hasta 1762 no se resolvió por fin el problema de la determinación precisa de la longitud en el mar, cuando un cronómetro fabricado por John Harrison, su famoso Núm. 4, cumplió los exigentes requisitos del premio. Nueve años más tarde una versión más reducida de este cronómetro acompañó al capitán Cook en su segundo gran viaje, en el que trasladó a

una carta náutica los misterios del sur del océano Pacífico.

Es evidente que el desarrollo de las carreteras y el de los vehículos están íntimamente relacionados entre sí, de tal suerte que en Inglaterra, durante el reinado de Carlos I, hubo incluso un período en que se prohibió el uso de diligencias para proteger los caminos públicos del desgaste natural por el uso. Durante un período mucho más largo estuvo prescrita por ley la anchura mínima de la llanta de hierro —en un tiempo fue nada menos que de 40 cm—, y a mediados del siglo XVIII se fomentó el uso de vehículos de ruedas anchas, liberándolas incluso del pago en las barreras de peaje, que por entonces estaban llegando a ser numerosas. En ese tiempo la anchura de las llantas era de 23 cm, pero para eludir las regulaciones los diseñadores empezaron a construir ruedas biseladas, de las que sólo unos 8 cm tocaban normalmente la carretera. Para mercancías pesadas, la galera de 8 toneladas, tirada nada menos que por doce caballos, fue el único rival de la barcaza de río y de la recua de caballos. Transportaba también a los pasajeros más pobres: en una época aristocrática el progreso técnico servía principalmente a las necesidades o ambiciones de los ricos. Desde 1665 aproximadamente la aspereza de los caminos para el viajero en coche fue mitigada por la introducción de las primeras ballestas, que sostenían la caja del coche sobre tiras en forma de C de acero templado; empezaron también a hacer su aparición vehículos de viajeros, con dos ruedas, más ligeros. Desde el siglo XVII el rival del coche para uso en la ciudad había sido la silla de manos. Pero entonces el aumento de calles y plazas convenientemente pavimentadas, que resultaba de la ordenación de las ciudades en el siglo XVIII, fomentó la construcción de todas clases de vehículos experimentales, denominados con nombres fantásticos, tales como el *titiwhiskey*, en que Jeremías Bentham salió en su juventud de Londres

para París, y el *pat de chambre,* en que, al parecer, llegó allí.

Sin embargo, el progreso sistemático en el diseño dependía de la mejora de las superficies de las carreteras. En esto, en el período inmediatamente anterior a la revolución industrial, Francia llevaba claramente la delantera: Inglaterra no tenía nada que pudiera compararse con la organización francesa (p. 274). Habría requerido una perspicacia sobrehumana dar cualquier significado especial al desarrollo en la Inglaterra del siglo XVII y principios del XVIII del ferrocarril, que, como se ha observado, había aparecido en su forma más primitiva entre los mineros alemanes una o dos generaciones antes (p. 299). Los alemanes tenían al principio un perno bajo el carretón, que se movía a lo largo de una acanaladura hecha en unos tablones para mantener las ruedas delanteras en la ruta adecuada (fig. 89), pero es posible que antes de acabar el siglo XVI estuvieran también en uso las ruedas de madera con rebordes (fig. 90). La primera referencia inglesa a los raíles tiene lugar en la descripción de una mina

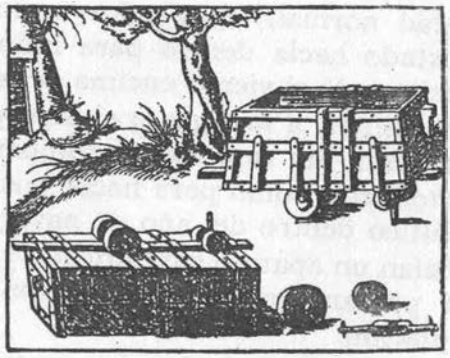


Fig. 89. Vagoneta de minero, con un perno para engranar en un tablón acanalado. Agrícola, 1557.

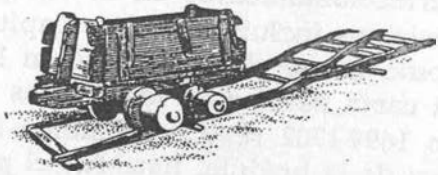


Fig. 90. Vagoneta de carbón en Transilvania provista de rueda con rebordes, probablemente del siglo XVI.

de carbón de 1597-1598, pero las vías para vagonetas con raíles de madera se desarrollaron rápidamente: el comercio del carbón estaba creciendo de prisa, y buena parte del mismo era transportado a caballo para distancias largas desde la mina hasta la orilla del río o del mar. Como en los caminos de rodadas de los antiguos (p. 244), la rueda de vagoneta corría al principio por una acanaladura, pero el éxito del sistema fomentó la adaptación a diferentes formas de raíl o de rueda, como veremos más tarde.

Mientras tanto, la Inglaterra de Daniel Defoe —de la que disponemos de un cuadro económico mucho más claro que de cualquier otro país del continente— era todavía un país en el que los señores montaban más a caballo que en coche y los pobres viajaban a pie. Es posible que fueran utilizados caballos de trote ligero para transportar pescado fresco desde Lyme Regis a Londres, pero buena parte del suministro de alimentos a la capital provenía de las granjas avícolas de Norfolk, o incluso de los distritos ganaderos de Escocia y Gales. Para los transportes a larga distancia lejos de los ríos el caballo de carga seguía siendo el primer porteador de mercancías, y el carbón —que iba a ser el alma de la nueva era—, gravado con los impuestos, costaba en Londres seis veces más que en bocamina.

7. COMUNICACION Y PROCEDIMIENTOS DE REGISTRO

EL LENGUAJE Y LOS PROCEDIMIENTOS DE REGISTRO

El lenguaje, la escritura, la imprenta y la fotografía son cuatro pasos en la tecnología de los procedimientos de registro. La imprenta es el más importante de los cuatro para el propósito de la historia actual, ya que su impacto total en la sociedad se puede ver desde la conmoción producida en el siglo XV por los primeros inventos entre las pocas personas capaces de leer y escribir hasta los efectos de la alfabetización casi universal en las naciones occidentales 400 años después. Por el contrario, el impacto de la fotografía, especialmente en forma de imagen en movimiento, sólo se empezó a sentir en el año 1900 d.C. Por lo que se refiere al lenguaje y a la escritura, sólo vagamente podemos vislumbrar lo que significaron estas innovaciones para la especie humana, ya que se sabe relativamente poco acerca de la prehistoria del hombre antes de que éste aprendiera a escribir, y virtualmente nada del hombre en su más remoto pasado, cuando se comunicaba con su especie sólo por medio de los sonidos, señales y gestos, propios de los animales.

Se ha dicho, muy acertadamente, que el lenguaje es correlativo a la herramienta. El hombre paleolítico hacía palabras igual que fabricaba herramientas; pero sólo existen conjeturas acerca del proceso por el cual los gritos del animal evolucionaron hasta el lenguaje del hombre, que le permite comunicar sus pensamientos por medio de palabras. Los aborígenes australianos, que en el siglo XVIII d.C. vivían

todavía en la era paleolítica, tenían, sin embargo, tantos lenguajes como tribus había —unas quinientas tribus, con una media de quinientos miembros por tribu—, que vagaban entonces por el continente insular. La bruma no empieza a disiparse antes de la revolución neolítica, cuando es fácil suponer que el aumento de actividades especializadas desembocaría en un aumento de vocabularios especializados: el del alfarero, el del agricultor, el de las mujeres que hilaban y tejían en sus cabañas. A su vez, el incremento de civilización produciría nuevas necesidades de vocabulario para expresar tanto las ideas concretas como las abstractas, y una modificación en la gramática hasta que llegase a una condición de exactitud sin ambigüedades arcaicas. Así llegamos al estado alcanzado por los griegos clásicos, después del cual el lenguaje no ha hecho ningún progreso digno de mención.

De todas las tecnologías, la más evanescente es el lenguaje, ya que hasta los tiempos modernos no ha dejado ningún registro audible. El registro duradero comienza en el arte paleolítico, aunque no hay duda que existían mensajes por signos mucho antes de las pinturas paleolíticas más antiguas hoy existentes. Se cree que las pinturas rupestres tenían probablemente un significado mágico para el cazador, y podían proporcionar un placer meramente estético al pintor. Al mismo tiempo, es difícil observar una representación de un cazador corneado por un búfalo herido (fig. 91) sin suponer que su autor estaba registrando el hecho deliberadamente. Pero el gran paso de la pintura a la escritura sólo sería dado cuando el hombre, impulsado hacia una condición más civilizada, tuvo necesidad de llevar registros cuantitativos para mantener la vida de la ciudad.

De los archivos del templo de Erech, en Sumer, templo que en una leyenda judía era contado entre las posesiones de Nemrod, quien comenzó «a dominar sobre la tierra» (Génesis 10, 8), sobreviven una serie de tablillas (fig. 92), en las cuales los dibujos son

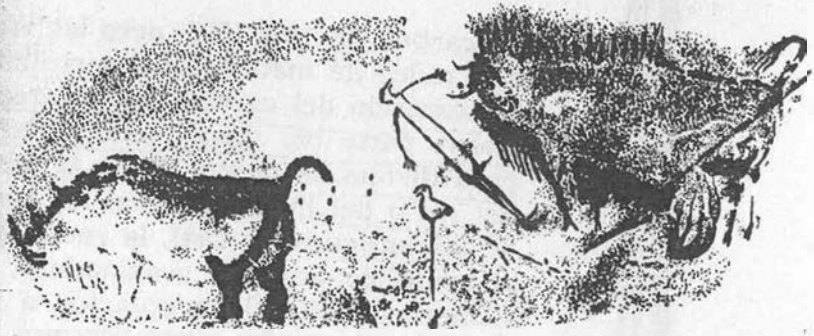


Fig. 91. Pintura del Paleolítico Superior en las cuevas de Lascaux, Francia.

utilizados sistemáticamente como registros. Se cree que éstos son los anales del templo, y datan aproximadamente de la mitad del cuarto milenio a.C. Estas palabras-signos o pictogramas expresan no sólo sustantivos concretos, tales como pan, sino también verbos, como comer, representado por una mano y una boca cuando están colocadas al lado del símbolo del pan; su interpretación es a menudo incierta, pero es posible que algunos de los signos compuestos describan objetos, cuyos nombres están combinados para representar un nombre propio o una persona. Sea como fuere, los escribas de los templos de Sumer desarrollaron desde el principio el arte de registrar por medio de dos métodos. El primero consistía en marcar el pictograma con líneas, con la intención de variar su significado: por ejemplo, una línea debajo de una barbilla transforma el signo que representa la cabeza en un signo representante de la boca. El segundo era utilizar el pictograma para que significase no una cosa o una acción, sino un sonido —de forma muy parecida a como nosotros, enfrentados con el mismo problema, podríamos utilizar la imagen *ass* [asno] para representar la sílaba *as* [como]—, cambio que fue del mayor valor, ya que el vocabulario sumerio consistía principalmente en monosílabos. Esto posibilitaba reducir el número de

signos en uso, de modo que por el año 2900 a.C. un total de 2.000 signos había sido reducido a 500 ó 600, de los cuales alrededor de 100 representaban una sílaba, es decir, una vocal con o sin consonantes acompañantes. Sin embargo, como los sonidos consonantes no se distinguían de la sílaba en que se encontraban, los sumerios nunca consiguieron un alfabeto.

Fig. 92. Tablilla pictográfica de Erech, Sumer. Hacia 3500 antes de Cristo.

La naturaleza del material disponible y los medios para escribir en él ha tenido siempre una gran influencia en la evolución de la escritura: incluso ahora la pizarra y la tiza presentan problemas diferentes de caligrafía que los presentados por el papel y la pluma. Aparte de las inscripciones monumentales en piedra o (más tarde) en metal, los pueblos primitivos de Mesopotamia escribían exclusivamente sobre ta-

blillas (generalmente, de unos 3,5 × 10 cm) y bloques de arcilla de varias formas, grabándolos originalmente con un afilado estilete de junco, con el que era muy difícil escribir sobre arcilla húmeda. Pero hacia el año 3000 a.C. se había tomado la costumbre de dar forma de cuña a la punta del junco, y, con el uso de diferentes tamaños, realizar el signo requerido, grabando marcas con forma de uña en la arcilla. Pronto el signo perdió su parecido con el pictograma original, sobre todo cuando los semitas conquistadores de Mesopotamia adoptaron esta escritura cuneiforme *(cuneus,* cuña) para representar su lengua semítica. Este método también fue adoptado por los hititas para su lenguaje indoeuropeo, totalmente distinto, y figura en época tan tardía como la mitad del último milenio a.C. en una inscripción sobre las Rocas de Behistun, en Susa, que narra las victorias de Darío. Mientras tanto, había servido para extender ampliamente la cultura babilónica por toda Asia occidental.

Es probable, pero no necesariamente cierto, que el sistema de escritura egipcio procediese originalmente del sistema sumerio. Sea como fuere, evolucionó de forma muy distinta y, aparentemente, ante necesidades diferentes. En cuanto a la escritura egipcia, comienza con la formación de la monarquía unitaria, y el primer uso de ella de que se tiene conocimiento fue el de auxiliar del arte monumental, registrando los nombres y los logros de los reyes. Los jeroglíficos egipcios (o tallas sagradas) se distinguen también del sistema sumerio en que nunca abandonaron la idea del dibujo, como aparece por primera vez en la «paleta del rey Narmer» (fig. 93), del año 3100 a.C., aproximadamente, que, según se dice, cuenta que el dios Horus permitió al faraón capturar 6.000 extranjeros dentro de su país. Los jeroglíficos sobrevivieron para usos ocasionales hasta el período romano, pero para documentos, a diferencia de los monumentos, los egipcios desarrollaron formas más rápidas de escritura (hierática y demó-

tica), en las cuales desaparece la clara línea de contorno del signo pictórico, como ocurrió con la sumeria, y normalmente el signo representa una sílaba. Los egipcios eran incluso capaces de representar una consonante con un solo signo, pero eran tan conservadores —estando centrada su escritura, como casi todo lo demás, en los ritos de los muertos— que evitaban dar lo que a nosotros nos parecería el paso natural de descartar métodos más difíciles a favor de un sistema de escritura puramente alfabético.

Fig. 93. Paleta del rey Narmer.

Los egipcios no tenían necesidad de recurrir a la escritura cuneiforme, porque tenían papel y tinta con que escribir. Para hacer papel, cortaban en tiras la médula del tallo de papiro, las cuales eran cruzadas en ángulo recto, prensadas, secadas, alisadas y pegadas para formar un rollo. La tinta se obtenía con negro de humo y soluciones de goma; sus plumas —en principio utilizadas como pinceles, pero corta-

das más tarde como plumas de ave—eran de junco. El papiro era un monopolio egipcio, pero cómodo de exportar, y, por lo tanto, un poderoso estímulo para la expansión de la escritura entre los vecinos de Egipto al este y al oeste.

Los jeroglíficos aparecen junto con la escritura cuneiforme entre los hititas, y parece que han influido en la escritura cretense primitiva, aunque hacia el 1400 a.C. se utilizaban en Cnosos, signos lineales para expresar un lenguaje ahora reconocido como griego. Pero el futuro estaba en la expansión hacia Occidente del alfabeto, partiendo de su lugar de origen en el Oriente Próximo. Se cree que fue introducido por primera vez por un pueblo semita en contacto con Egipto poco después del año 2000 a.C. Sabemos que un alfabeto, parecido al árabe y con ocho letras que no se encuentran en el hebreo o en el fenicio, era utilizado en Ugarit, en la costa norte de Siria, antes de su destrucción por un ataque desde el mar en el siglo XIII a.C. Se ha sugerido que la desaparición de este alfabeto está también conectada con el hecho de que estaba escrito en escritura cuneiforme, que no era probable sobreviviera allí donde la arcilla no era el material natural de escritura del país.

En todo caso, está claro que antes de la caída de Ugarit los reyes de Biblos, 195 km al sur, utilizaban un alfabeto lineal fenicio de veintidós letras, que representaban sólo consonantes. A principios del primer milenio a.C. se puede encontrar este alfabeto fenicio en Siria, Palestina y Arabia; una variante, descendiente de la misma fuente semítica primaria que el alfabeto fenicio, se estableció un poco más al sur, y fue la antecesora del alfabeto árabe. Pero fue el alfabeto fenicio el que llevaron a través del Mediterráneo el comercio y la colonización de los fenicios a un lugar tan lejano como Cartago, y que, como las legendarias «letras» de los cadmeos, fue traído a Grecia, donde había existido antes una escritura lineal utilizada en Cnosos, ya desaparecida. La escritura alfa-

bética comenzó entre los griegos sobre la mitad del siglo IX a.C. El alfabeto etrusco procede, sin duda, del griego, y el romano, probablemente, del etrusco; en el último siglo a.C. el alfabeto latino (fig. 94) estaba formado por veintitrés letras, a las que el inglés moderno ha añadido solamente la *v*, la *w* y la *j*.

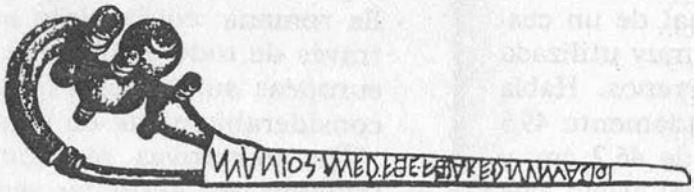


Fig. 94. La inscripción latina más primitiva que se conoce, Palestrina, Italia. Siglo VII a. C.

LA MEDICION

Muchos de los propósitos originales de la escritura eran estrictamente prácticos, tales como registrar hechos históricos importantes y códigos legales, y llevar las cuentas requeridas por la tributación organizada y el comercio. El desarrollo de sistemas de medición fue una cooperación esencial al desarrollo de la escritura, y debemos considerar, por lo tanto, aunque necesariamente con mucha brevedad, la evolución de las medidas y los pesos. Como fondo de esta relación es importante percatarse de que el mundo antiguo no conoció sistemas tan precisos y ampliamente usados como los que se encuentran actualmente en uso. Las viejas unidades variaban mucho no sólo de lugar a lugar, sino de época en época, y en muchos casos no fueron nunca definidos con demasiada precisión hasta que las peculiaridades locales dieron paso con el tiempo a la uniformidad del sistema métrico.

Aunque faltan pruebas, parece obvio que las medidas de longitud deben haber precedido a todas las

otras: el tiempo es una cantidad abstracta, y el peso tenía poca razón de ser hasta que no se diseñó alguna forma de balanza. En cambio, la medición de la longitud llegaría a ser importante tan pronto como el hombre comenzó a edificar y a dividir la tierra (fig. 95). Más aún, mientras que sólo se tuvieron que hacer medidas aproximadas, el hombre tenía las dimensiones de su propio cuerpo como patrón prontamente disponible: la alzada de un caballo todavía se mide en palmos menores, la anchura de la palma de la mano de un hombre. De las unidades basadas en el cuerpo humano, la más importante era el codo;

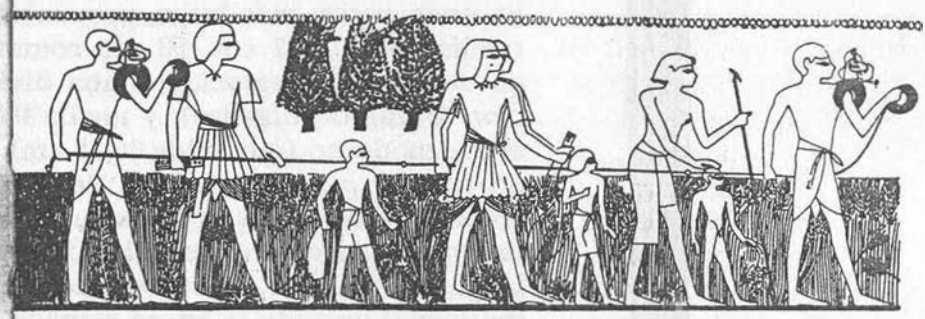


Fig. 95. Medición de tierra, según una tumba de Tebas, Egipto. Hacia 1400 a. C.

ésta era la longitud del antebrazo del hombre desde el codo hasta la punta de los dedos, siendo el antebrazo el jeroglífico egipcio con el que se representaba esta medida. El palmo, desde la punta del dedo meñique hasta la punta del dedo pulgar cuando la mano está totalmente extendida, es aproximadamente la mitad de un codo. La longitud del pie era otra medida cómoda, siendo considerada generalmente como unos dos tercios de un codo. Los hombres podían también utilizar su propia estatura, aproximadamente igual a la distancia desde las puntas de los dedos de una mano hasta las puntas de los dedos de la otra cuando los brazos están extendidos horizontalmente; esto eran cuatro codos o una braza.

Como los hombres difieren individualmente en estatura, y las proporciones medias de las distintas razas difieren también, se hizo preciso para las comunidades individuales definir unidades de longitud con más precisión utilizando algún tipo de regla aprobada oficialmente, y parece que esto se hizo ya en el 3000 a.C. El codo real egipcio era de unos 52,3 cm, y la variación no era, probablemente, de más del 2 por ciento; el «doble remen», la diagonal de un cuadrado cuyos lados medían un codo, era muy utilizado por los egipcios en mediciones de terrenos. Había también un codo sumerio, de aproximadamente 49,5 centímetros; un codo griego olímpico, de 46,2 cm, y un codo persa, más largo, proveniente del asirio, que medía sobre 64,2 cm. El pie romano estaba basado en el codo real egipcio; estaba dividido en doce *unciae* (onzas o pulgadas), y medía 0,85 cm menos que el pie moderno (que mide 30,48 cm). Este se convirtió en patrón para la mayoría de Europa, pero en los trabajos medievales de construcción y en la industria lanera fue ampliamente utilizado un pie «druso», más largo, de 33,3 cm, que prevaleció en la Europa septentrional durante la época romana, y que había sido conocido por los egipcios en el segundo milenio a.C. En Inglaterra, Enrique I uniformó la yarda con la longitud de su propio brazo: el patrón actual data de 1305.

Las longitudes mayores fueron definidas con mucha menos precisión, y eran expresadas normalmente en términos de jornadas. En una época en que la mayoría de los viajes de cualquier distancia se realizaban por razones de negocios, este método era suficientemente satisfactorio, porque lo que interesaba era el tiempo empleado, más que la distancia real, aunque Jenofonte registró en *parasangas* persas el avance de su gran marcha a través de Asia hasta el mar. Eratóstenes, cuya medición de la tierra en el siglo II a. C. (p. 331) debe ser considerada como uno de los mayores logros intelectuales de todos los tiempos, utilizó como unidad el estadio griego: éste era

una medida de 600 «pies», pero desgraciadamente no conocemos la longitud exacta del pie en el que basó sus cálculos. Los romanos establecieron la equivalencia de 8 estadios para su milla de 1.000 dobles pasos, estando marcadas las principales carreteras romanas con una piedra cada milla, tanto para la comodidad de los viajeros como para simplificar la organización del trabajo de mantenimiento. Esta milla romana, equivalente a unos 1.522 m, se utilizó a través de todo el Imperio, y fue la base de las millas europeas subsecuentes, aunque las últimas variaron considerablemente de lugar a lugar.

Las primitivas mediciones de superficie estaban también mal definidas según los patrones modernos, pero sí estaban de acuerdo con las necesidades prácticas. Así, el acre llegó a ser definido como la cantidad de tierra que podía arar una yunta de bueyes diariamente: como es natural, variaba mucho, dependiendo de las características del suelo. Una alternativa era medir la tierra por la superficie que podía ser sembrada con una determinada cantidad de semilla. Hasta relativamente tarde no se definió la superficie de tierra con más precisión: el acre inglés fue establecido legalmente, por ejemplo, en 1305.

Para mercancías voluminosas, como el grano, y para todos los líquidos, las medidas de capacidad o volumen son relativamente más fáciles que las de peso. La unidad egipcia era el *hon*, algo menos (0,84) que una pinta imperial. Los egipcios utilizaban también el *kotyle* sirio, equivalente al 0,62 de la pinta imperial; el término todavía sobrevive en Grecia. La fanega es aparentemente de origen celta: era, y todavía es, una cantidad muy variable, dependiendo su volumen del país, de la mercancía y de si se refiere a una medida colmada o a ras.

Es tentador suponer que los primitivos patrones de peso estaban relacionados con los pesos de volúmenes-tipo de agua o grano, pero tenemos poca evidencia de esto. El uso más primitivo de las balanzas parece haber sido para pesar polvo de oro,

mercancía tan preciosa que su medición exacta era de gran importancia. Este uso puede datarse a partir del quinto milenio a.C.: la balanza (fig. 96) parece que no fue utilizada ampliamente en el comercio hasta por lo menos 2.000 años más tarde. A causa de su limitación a la pesada del oro, sólo se requerían al principio pequeñas unidades de peso; el patrón era

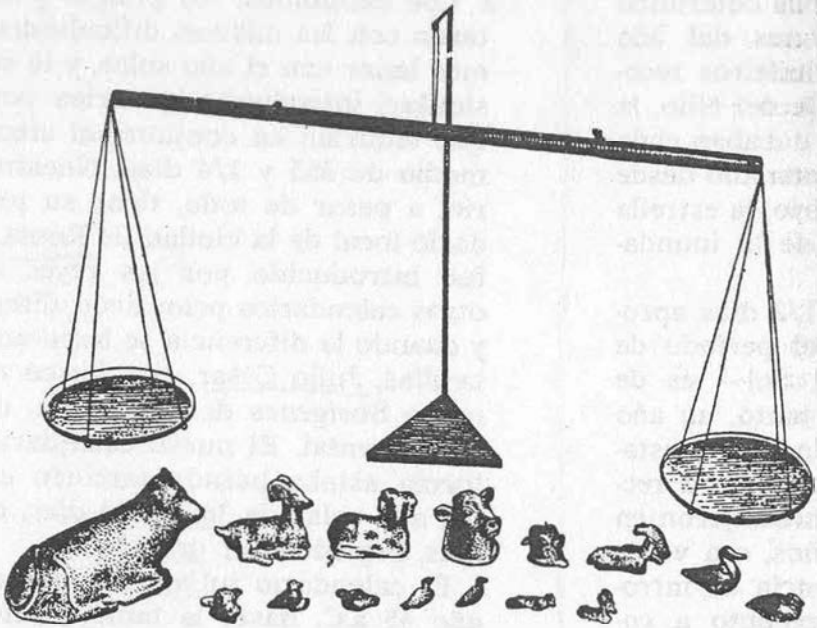


Fig. 96. Balanza de madera egipcia, con un astil de 30 cm., mostrando típicas pesas en forma de animales y pájaros. Tell-al-Amarna. Alrededor de 1350 a. C.

el siclo, utilizado por todo el Oriente Medio, que variaba en peso desde 7,78 a 14,13 gramos. Cuando se precisaron pesos mayores se introdujo la mina (de 25 a 100 siclos), y con posterioridad el talento (60 minas). Un talento sumerio de alrededor del año 2350 a.C. pesa aproximadamente 50 kg.

La balanza en su forma sustancialmente moderna —esto es, un astil montado sobre un pivote que so-

porta el objeto que se quiere pesar en un extremo y los pesos-patrones en el otro—data del Egipto prehistórico. Ya en el año 1350 a.C. las balanzas podían pesar siclos con una precisión del 1 por ciento. La romana (fig. 97), todavía hoy extensamente utilizada, era una forma de balanza en la que el objeto que se quiere pesar no es equilibrado variando el peso en el otro extremo de un brazo de longitud fija, sino moviendo un peso fijo a lo largo del brazo: graduando apropiadamente éste, se puede leer directamente el peso del objeto.

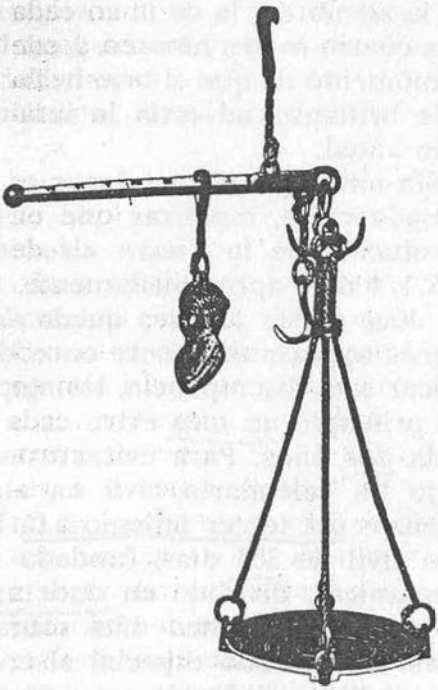


Fig. 97. Romana. Año 79 después de Cristo.

La medición del tiempo presenta dificultades excepcionales. De todas formas, entre los usos más primitivos de la escritura, se encuentran anotaciones del tiempo, y los egipcios, gracias a la notable precisión de sus observaciones astronómicas, habían establecido un calendario razonablemente preciso hacia

el año 3500 a.C. Para el hombre primitivo la actividad diaria comenzaba al amanecer y acababa con el crepúsculo: la división de las horas con luz del día era de poco interés. Por el contrario, siempre era importante para él la sucesión de las estaciones en relación con la maduración de los frutos y granos y las migraciones estacionales de buena parte de la vida animal, y en cuanto se establecieron asentamientos permanentes, el ciclo de las estaciones determinó las épocas para las diversas operaciones del año agrícola. De este modo los egipcios primitivos reconocían tres estaciones —la de la crecida del Nilo, la de la siembra y la de la cosecha—, que duraban cada una cuatro meses lunares, y contaban cada año desde el momento en que el orto helíaco de Sirio, la estrella más brillante, advertía la inminencia de la inundación anual.

Sin embargo, el mes lunar es de 20 1/2 días aproximadamente, mientras que el año —el período de revolución de la Tierra alrededor del Sol— es de 365 1/4 días aproximadamente. Por lo tanto, un año de doce meses lunares queda desfasado de las estaciones aproximadamente once días al año. Para rectificar esta discrepancia, los egipcios introdujeron en un principio un mes extra cada tres años, o a veces cada dos años. Para evitar esta diferencia se introdujo un calendario civil en algún momento a comienzos del tercer milenio a.C. Estaba basado en un año civil de 365 días, fundado en observaciones astronómicas, dividido en doce meses de treinta días cada uno: los cinco días sobrantes se introducían como un período especial al comenzar el año. Este año civil era utilizado para asuntos profanos; el calendario lunar era utilizado por los sacerdotes. Se hizo necesaria otra revisión del calendario, a pesar de todo, cuando se hicieron patentes los efectos de las seis horas en las que el año sideral excede los 365 días. Esto se efectuó introduciendo, alrededor del año 2500 a.C., un calendario lunar especial de trece meses, que estaba de acuerdo con el calendario civil.

Hacia el año 357 a.C. se introdujo un calendario lunar revisado, basado en un ciclo de veinticinco años. Ya en el año 239 a.C. los egipcios se dieron cuenta de que el adelanto en el calendario civil de un día cada cuatro años podía ser impedido introduciendo simplemente lo que ahora llamamos un año bisiesto; de todas formas, no se hizo nada efectivo hasta el período romano.

Los babilonios, los griegos y los judíos se enfrentaron con las mismas dificultades para reconciliar el mes lunar con el año solar, y lo resolvieron de forma similar, introduciendo varios períodos intercalados, que tendrían en conjunto el efecto de hacer un año medio de 365 y 1/4 días. Nuestro moderno calendario, a pesar de todo, tiene su principio en el calendario local de la ciudad de Roma, que aparentemente fue introducido por los reyes etruscos. Igual que otros calendarios primitivos, difería de las estaciones, y cuando la diferencia se hubo ampliado hasta ochenta días, Julio César, que buscó el consejo del astrónomo Sosígenes de Alejandría, decidió una reforma fundamental. El nuevo calendario nacido de esta reforma estaba basado también en la representación del año solar de 365 y 1/4 días, con tres años de 365 días, seguidos por uno de 366.

El calendario juliano se mantuvo en uso desde el año 45 a.C. hasta la famosa reforma gregoriana en 1582 d.C., que surgió a causa de la incertidumbre del día adecuado para la celebración de la Pascua de Resurrección. La fecha de esta Pascua, que proviene de la Pascua judía, es determinada por la fecha de la primera luna llena después del paso del equinoccio vernal, que tenía lugar, en 325 d.C., el 21 de marzo, según el calendario juliano. Después de unos 1.250 años, sin embargo, el equinoccio vernal se había retrasado unos diez días, y en consecuencia la fecha correcta de la Pascua de Resurrección —de inmensa importancia en todo el mundo cristiano— era insegura. Esta otra viariación surgió porque la suposición de que el año solar es de 365 y 1/4 días no es del todo

cierta: la diferencia anual es de unos 11 minutos. Por una bula papal se ordenó en 1582 que, en vez de haber un año bisiesto cada cuatro años, debería haber 97 años bisiestos en 400 años: para eliminar el error acumulado, el 5 de octubre de 1582 se convirtió en el 15 de octubre de ese mismo año. La mayor parte de los países continentales adoptaron rápidamente la reforma, pero pasaron muchos años hasta que Gran Bretaña y algunos otros países no católicos hicieron lo mismo. Gran Bretaña no realizó el cambio hasta 1752; Rusia no lo hizo hasta 1918, y Turquía, en 1927.

El establecimiento de un calendario satisfactorio es, históricamente, de primera importancia. Mientras la agricultura fue la principal actividad de las naciones civilizadas, el calendario confería la gran ventaja de posibilitar la planificación del trabajo estacional sin referencia a las fases de la luna, y su valor para el comerciante, el cobrador de impuestos, el sacerdote y el historiador no necesita ser subrayado. Se concedió mucha menos importancia a la simple medición del paso del tiempo desde el amanecer hasta la puesta del sol. Los primeros intentos para realizar esta medición dividían invariablemente la luz del día en períodos iguales: como la duración de la luz del día es una cantidad variable, se sigue que las horas, en el sentido moderno, no querían decir nada para el mundo antiguo. El primer cronómetro diario fue probablemente el reloj de sombra (fig. 98), del año 1450 a.C. aproximadamente, encontrado en Egipto, y que tuvo gran variedad de formas en siglos posteriores. Desde una fecha primitiva llevaba un

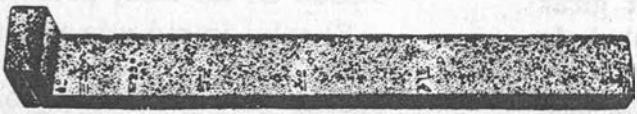


Fig. 98. Reloj de sombra egipcio de unos 35 cm. de largo. Alrededor del año 1450 a. C.

número de escalas (fig. 99), que permitían utilizarlo en los diversos períodos del año. El reloj de agua o clepsidra data de aproximadamente la misma época, o posiblemente de antes: en éste, el tiempo es medido por el flujo de agua que pasa por un pequeño

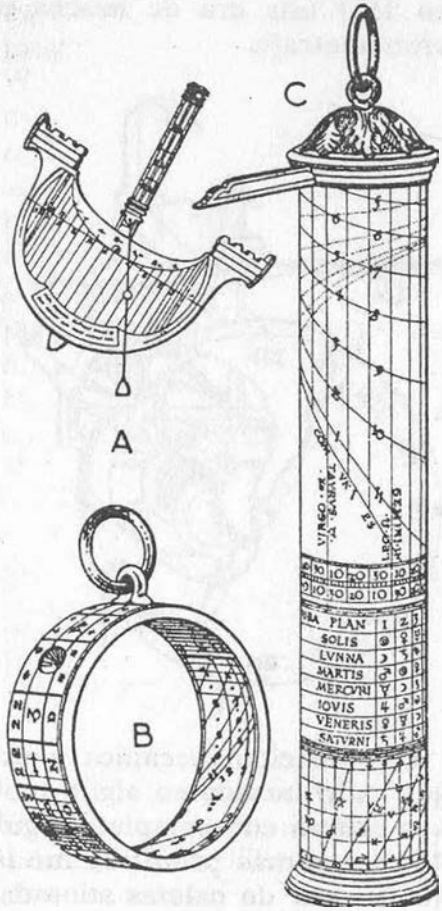


Fig. 99. Relojes de sol: A) cuadrande «de barco»; B) cuadrante en anillo; C) modelo cilíndrico.

orificio a un gran recipiente. Análogo a la clepsidra era el reloj de arena, de aproximadamente la misma antigüedad. Estos tres siguieron siendo virtualmente los únicos cronómetros durante miles de años. Los relojes mecánicos (fig. 100) aparecieron por primera vez en el siglo XIII d.C., siendo entonces impulsados

por pesos que caían; los mecanismos impulsados por resortes, que hicieron posible los relojes de bolsillo, no se utilizaron hasta el siglo XV. El descubrimiento por Galileo de la oscilación isocrona del péndulo, que según dicen tuvo lugar al observar el balanceo de una lámpara en la catedral de Pisa, abrió en 1581 una era de mucha mayor precisión en el cronometraje.

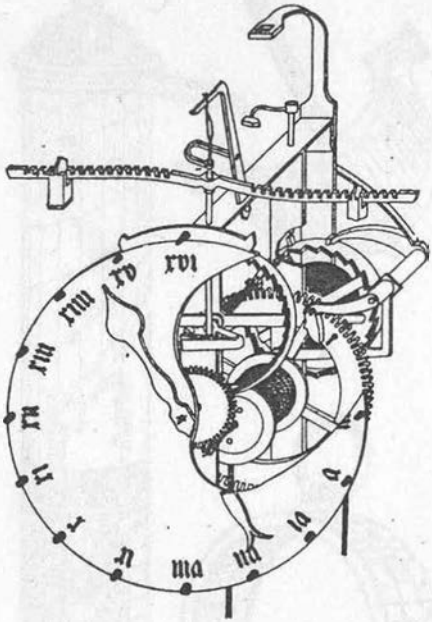


Fig. 100. Reloj despertador primitivo, de aproximadamente 1390.

La medición mecánica y exacta del tiempo tiene que estar basada en algún movimiento de repetición que ocurra con completa regularidad. El mecanismo de escape más primitivo fue la rueda catalina, en la que un par de paletas adosadas a un brazo oscilante se engranaban alternativamente en los dientes de una rueda de escape (coronaria) que se hace girar por medio de una pesa que cae. La regularidad de la rueda catalina estaba muy influida por la fricción, y aunque era suficientemente satisfactorio en una época en la que la precisión no tenía gran importancia, no era intrínsecamente un buen cronometrador.

El eje que llevaba la rueda de escape estaba conectado por medio de una cadena de engranajes con la manecilla, o manecillas, de la esfera del reloj. Si se quería que el reloj diera la hora, se le incorporaba un segundo mecanismo, impulsado por un peso. El reloj más primitivo de este tipo, que aún perdura en la catedral de Salisbury, data de 1386; relojes muy parecidos al de Salisbury existen también en Wells (transformado posteriormente en reloj de péndulo) y en Ruán. El gran parecido parece indicar una artesanía común; en relación con esto es quizá significativo que Ralph Erghum fue obispo de Salisbury desde 1375 hasta 1388, y de Wells, desde 1388 hasta 1400.

El reloj de Wells ilustra la pasión de la época por tener mecanismos refinados, además de los encargados simplemente de cronometrar. La hora la dan figuras que se mueven, y a cada hora aparecen cuatro jinetes; además de indicar la hora, el reloj indica el período y las fases de la luna. El reloj astronómico de Giovanni de Dondi, construido en 1348-1362, del cual quedan descripciones detalladas, no sólo indicaba los movimientos del Sol, la Luna y los planetas, sino que tenía incorporado también un calendario perpetuo para las fiestas movibles de la Iglesia. Sin embargo, el diseño, la confección y el funcionamiento del reloj de Dondi estaban muy adelantados para su época, y tuvo poca influencia en el diseño contemporáneo al mismo. Otro reloj famoso por su complicado mecanismo auxiliar —un gallo (fig. 101) que alargaba su cuello, y aleteaba y cantaba— fue el construido en Estrasburgo en 1354. El reloj ha desaparecido, pero el gallo sobrevive, habiendo sido colocado en un reloj posterior en 1574.

El reloj impulsado por un resorte espiral apareció en la mitad del siglo XV. La adopción del resorte o muelle hizo posible la construcción de mecanismos más compactos, y desde luego preparó el camino para el cronómetro portátil, pero exigió un mecanis-

Fig. 101. Gallo mecánico, construido principalmente de hierro, del reloj de Estrasburgo, 1354.

mo que compensase la fuerza decreciente del resorte al desenrollarse: este problema no se presentaba con los mecanismos impulsados por pesos, ya que la fuerza ejercida por el peso al final de su descenso es la misma que al principio. La compensación necesaria fue efectuada por el caracol (fig. 102), que era esencialmente un tambor cónico con una muesca helicoidal, hecha de tal modo que, mientras el resorte se desenrollaba, el cordón de conexión ejercía una fuerza mayor sobre el eje que llevaba el caracol.

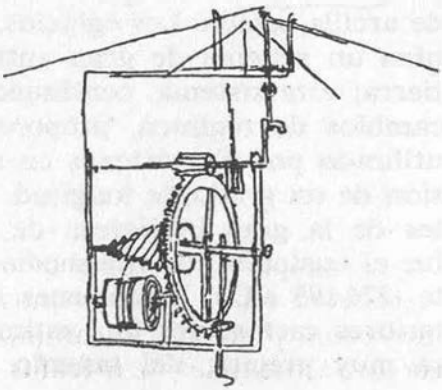


Fig. 102. Caracol de reloj. De un dibujo de Leonardo de Vinci. Hacia 1490.

Los relojes primitivos tenían a menudo una sola manecilla para indicar la hora (fig. 103), pero pronto se hizo corriente una segunda esfera para indicar los cuartos de hora, así como las manecillas de minutos o minuteros, y hacia 1550 ya se había experimentado con las manecillas de segundos o segunderos. A pesar de ello, los segunderos no se generalizaron hasta después del invento del péndulo.

Fig. 103. Reloj con una sola manecilla. De alrededor de 1490.

El principio del péndulo —que el tiempo de oscilación de un peso suspendido es (virtualmente) independiente de la amplitud de su oscilación— fue descubierto por Galileo en 1581, pero parece que él no realizó ningún intento de aplicarlo al cronometraje hasta 1641, cuando dio instrucciones a su hijo Vincenzio para que construyese un reloj que incorporase tanto un péndulo como un escape de rueda de espigas que había diseñado él: en este caso el reloj no fue acabado hasta después de que murieron ambos, padre e hijo. El principio del péndulo fue desarrollado por Huygens, que descubrió que el tiempo de oscilación no es enteramente independiente de la amplitud —para cuya desviación diseñó una corrección mecánica—; pero, según parece, desconociendo el escape de Galileo, adoptó el viejo mecanismo de rueda catalina. El relojero de Huygens, Salomon da Coster, hizo muchos relojes en La Haya para su venta. En 1673 Huygens publicó su gran obra sobre re-

lojes, el *Horologium oscillatorium*. Pasó casi un siglo después del invento de Galileo hasta que desapareció el escape de rueda catalina. El invento de William Clement del escape de áncora en 1670 fue mejorado por George Graham hacia 1715, y fue el escape normal, especialmente para relojes astronómicos, hasta casi el final del siglo XIX. El escape de áncora producía mucha menos variación en la oscilación del péndulo que la que producía el de rueda catalina, más incómodo: llegó muy cerca de la consecución del ideal de péndulo de libre oscilación.

Como hemos visto, el tiempo de oscilación de un péndulo no es absolutamente independiente de su amplitud. Huygens trató de obviar esto mecánicamente, pero otros relojeros optaron por alargar el péndulo y hacerlo oscilar en un arco más pequeño. Esto llevó al popular reloj de caja larga, con un péndulo de 1 metro, con un período de oscilación de 1 segundo. Para propósitos especiales se utilizaban péndulos todavía más largos: así, en 1676 Thomas Tompion construyó dos relojes para el nuevo observatorio de Greenwich provistos de escapes de áncora y péndulos de 4 metros con un período de oscilación de dos segundos. Tres años antes, James Gregory, astrónomo de la Universidad de St. Andrews, Escocia, había construido un reloj de caja larga que registraba fracciones de segundo.

La aparición de relojes mucho más seguros y precisos estimuló el interés por los relojes de bolsillo. Los relojes portátiles aparecieron ya en la última mitad del siglo XV: a causa de su forma y de su supuesto lugar de origen fueron llamados «huevos de Nuremberg», pero hay pruebas de que el primero fue fabricado de hecho en Milán. Para tales propósitos el péndulo no era apropiado, por supuesto, y se necesitaba alguna nueva forma de oscilador isócrono. En 1675 Huygens introdujo la espiral del volante, y mejoró mucho la precisión de los mecanismos de los relojes pequeños con la introducción de ejes de piedras preciosas —normalmente rubíes o

zafiros— en 1704. Huygens esperaba que su reloj de bolsillo fuese suficientemente preciso como para utilizarlo en la determinación de la longitud en el mar, pero, como hemos visto (p. 305), el primer cronómetro satisfactorio para este propósito fue el famoso Núm. 4 de Harrison, en 1762. El escape de cilindro de George Graham de 1721 posibilitó el poder encerrar el mecanismo de los relojes de bolsillo en cajas más delgadas, y en 1755 Thomas Mudge inventó el escape de palanca que, aunque olvidado durante casi un siglo, se utiliza en los mejores relojes de bolsillo modernos.

LA CARTOGRAFIA

El aumento de precisión en la medición del espacio y del tiempo condujo a perfeccionamientos en el arte de la cartografía, que —al igual que la geografía y las matemáticas, en los que estos perfeccionamientos están basados— caen fuera de los límites de este libro. Los mapas modernos tienen, de todas formas, antecedentes muy tempranos, como nos recuerda la rapidez con que pueblos primitivos, como los esquimales y los pieles rojas seminómadas, y los isleños de los mares del sur encontrados por el capitán Cook, trazaban toscos mapas para ayudar a los exploradores. Desde el 2500 a.C. sobreviven mapas catastrales mesopotámicos inscritos en tablillas de arcilla cocida. Los egipcios, como hemos visto, tenían un sistema de gran antigüedad para medir la tierra; este sistema, continuado a través de muchos cambios de régimen, proporcionó la base al mapa utilizado por Eratóstenes en su cálculo de la extensión de un grado de longitud. Ayudado por las fuentes de la gran biblioteca de Alejandría, de la que fue el custodio durante medio siglo aproximadamente (274-195 a.C.), Eratóstenes no sólo legó a los posteriores cartógrafos una estimación científica, y quizá muy precisa, del tamaño de la Tierra (p. 318),

sino que su mapa del mundo, conocido sólo a través de versiones medievales, empleaba un sistema de retícula (fig. 104). La silueta es la de un rectángulo alargado rodeado por el océano, pero la superficie que abarca —desde Finisterre hasta el Ganges y desde la isla de Thule, en los mares del norte, hasta las supuestas fuentes del Nilo— une las familiares tierras mediterráneas con las conquistas y descubrimientos de Alejandro el Grande. El mapa fue criticado por el astrónomo Hiparco (161?-126 a.C.), porque las posiciones no estaban determinadas astronómicamente, y por la irregularidad de la retícula; pero su propuesta de utilizar una proyección para paliar la curva de la superficie de la tierra no fue recogida hasta el siglo II d.C.

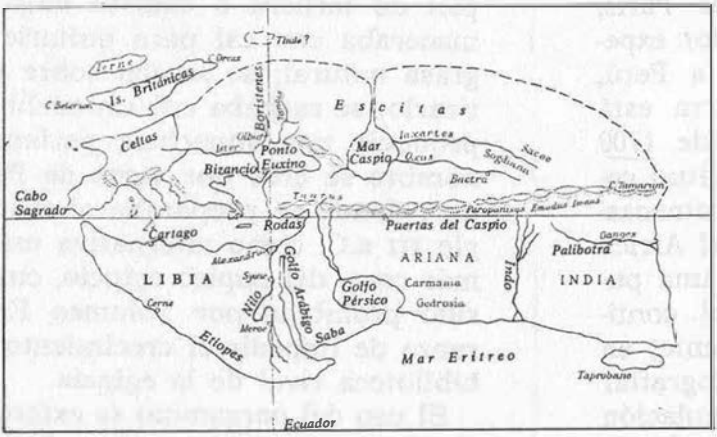


Fig. 104. Mapa del mundo reconstruido de acuerdo con las ideas de Eratóstenes.

La contribución romana parece haber sido estrictamente práctica: mapas que servían a objetivos políticos y bélicos, tal como el mapa del Imperio en su totalidad que fue completado durante el reinado de Augusto y esculpido en mármol; todo lo que queda es parte de un plano de la capital imperial y un mapa de carreteras del mundo contenido en una cin-

ta o túrdiga que mide 754 × 34 milímetros. Pero la gran tradición alejandrina fue continuada por Tolomeo, que hacia el año 150 d.C. se puso a la tarea de «reformar el mapa del mundo» sobre la base del trabajo efectuado al principio del siglo por Marino de Tiro, un geógrafo por otra parte desconocido. El mapa de Tolomeo tenía muchas imperfecciones. Tolomeo creía que la extensión de un grado de longitud era mucho más pequeña que lo que había calculado Eratóstenes, lo que en parte explica la existencia de un engrandecimiento de un tercio en el tamaño del mar Mediterráneo. Las 8.000 posiciones en las que se apoyaba para delinear el mundo habitable conocido —180 grados de longitud y 80 de latitud— estaban establecidas a partir de itinerarios o estimas de marinos más que a partir de observaciones astronómicas. Aunque ofrecía una guía costera para el mar Rojo, no sabía que la India era una península ni que el océano Indico no era un *mare clausum*. Su importancia reside en la forma científica que tuvo de aproximarse al problema, que le hizo exponer dos métodos de proyección cartográfica. Esto iba a dar frutos en el siglo XV, cuando la *Geografía* de Tolomeo, acompañada de mapas que son probablemente de fecha mucho más tardía, fue traducida al latín y más tarde impresa; la versión griega original fue publicada por primera vez por Erasmo en 1533: mientras tanto la ciencia geográfica pasó a los árabes, al mismo tiempo que los cartógrafos monásticos basaban sus mapas en la interpretación o tergiversación de la Sagrada Escritura. Sólo las cartas trazadas por navegantes para acompañar las guías de la navegación mediterránea o portulanos sirvieron a un objetivo técnico serio; desde la época del llamado Atlas Catalán de 1375 (fig. 9), que da a la India su verdadera forma, estas cartas de navegación se incorporaron a una versión cada vez menos fantástica del mapamundi.

La era de los descubrimientos fue tanto un resultado como una causa del nuevo interés por la con-

fección de mapas y cartas —y globos terrestres, novedad que acompañó tanto a Colón como a Magallanes en sus viajes— a los que los nuevos instrumentos (pp. 296-297) proporcionaron nuevas posibilidades de precisión. Gerhard Kremer (latinizado como Mercator) levantó un plano de su Flandes nativo, proveyó instrumentos de observación para las campañas del emperador Carlos V, e introdujo en 1568 la primera de las largas series de proyecciones de los mapas modernos; sus mapas fueron los primeros en ser conocidos colectivamente en forma de atlas. Los Países Bajos se mantuvieron a la cabeza en este arte durante un siglo aproximadamente, pero los franceses tomaron la delantera en el siguiente paso importante, la medición exacta de un arco del meridiano. Esta fue hecha por vez primera por Jean Picard en 1669-70, exactamente al norte de París, pero entre 1736 y 1745 fue vuelto a medir por expediciones francesas enviadas a Finlandia y a Perú, que establecieron el hecho de que la Tierra está achatada por los polos. Un mapa francés de 1700 dio por primera vez al Mediterráneo su longitud correcta, y el *Atlas général* de B. D'Anville, comenzado en 1737, eliminó los lagos imaginarios del Africa desconocida, delineó China de acuerdo con una publicación china contemporánea, y abolió el continente mítico de los mares del sur. Finalmente, en 1774, D. F. Cassini de Thury empezó a cartografiar Francia totalmente por el sistema de triangulación —proceso que llevó 39 años completar— a escala 1:86.400.

Pero en todo este desarrollo posterior ningún acontecimiento fue de tanta importancia como la introducción del grabado, que dio tanto a los mapas como a las cartas una amplia distribución, tal como nunca se había visto con anterioridad, y al mismo tiempo hizo que su reproducción fuese precisa. La cartografía, en verdad, fue una de las artes que más ganó con la invención del papel y de la imprenta, invenciones a las que dirigimos ahora nuestra atención.

EL PAPEL

La importante manufactura árabe del papel preparó directamente el camino para la invención de la imprenta. El mundo griego y romano se distingue mucho más por lo que registró que por ninguna gran originalidad en la técnica del registro. Desde luego, el único avance considerable fue la creciente sustitución del papiro de los egipcios por el pergamino. La práctica no era del todo nueva: los egipcios habían escrito sobre cuero en época muy temprana, y no había mucha distancia entre el cuero y el pergamino, que en realidad tuvo un uso ocasional ya en el siglo XIII a.C. El pergamino se hace de cuero sin curtir: el de mejor calidad (vitela), de la piel de ternera o cabrito muy joven. Se lavaba y maceraba con cal para quitarle toda la suciedad y grasa natural; se secaba sobre un bastidor para estirarlo; se raspaba con un cuchillo; y se alisaba para producir una superficie perfecta para escribir. El nombre se cree que viene de Pérgamo, en Asia Menor, donde se preparaba el material al final del siglo III a.C. como alternativa más resistente, aunque más cara, del papiro egipcio, cuya exportación había sido prohibida por Tolomeo Epífanes con la esperanza de impedir el crecimiento en Pérgamo de una biblioteca rival de la egipcia.

El uso del pergamino se extendió con bastante lentitud; el principal cambio desde el papiro ocurrió con toda probabilidad hacia la época de Constantino el Grande. La Europa del noroeste lo adoptó primero para el servicio de la Iglesia, por último para documentos legales públicos, en los que su uso había sido prohibido por la ley romana. Originalmente, para documentos extensos se cosían hojas rectangulares de pergamino en largas tiras que podían ser enrolladas en forma muy parecida a como habían sido pegadas con cola o goma las hojas de papiro; pero a principios del siglo II d.C., comenzó a tener

lugar la práctica de doblar una larga hoja rectangular de modo que formase páginas de varios tamaños, atando luego las hojas para formar un códice o libro en sentido moderno (fig. 105). La palabra «volumen» —del latín *volumen*, rollo—, igual que el nombre de *Master of the Rolls* [dignidad judicial inglesa], es un recordatorio de que el libro era originalmente un documento que el lector desenrollaba, pero el nuevo diseño era mucho más cómodo.

Fig. 105. San Lucas copiando su evangelio de un rollo a un códice. De un manuscrito bizantino.

Fue especialmente utilizado por los primeros cristianos, a quienes se atribuye su invención en Egipto para poder tener más de una de las sagradas escrituras en el mismo libro. De todas formas, un libro de tamaño muy moderado, de 200 páginas en cuarto de pergamino, requeriría las pieles de no menos de doce ovejas, luego durante mucho tiempo la escritura costaba mucho menos que el material. Así, la

adopción de la imprenta en una escala importante presuponía la posibilidad de contar con un material barato y abundante sobre el que imprimir.

De aquí la importancia que tuvieron para el mundo occidental los contactos que establecieron los árabes con los chinos. A mediados del siglo VIII cogieron prisioneros a algunos fabricantes de papel chinos en el curso de una lucha por la posesión de Samarcanda; el papel había estado en uso en China desde el año 105 d.C., o incluso antes. Sobreviven manuscritos árabes escritos sobre papel del siglo IX, y en el siglo XII se estableció la industria entre los musulmanes en España, y también probablemente entre los súbditos musulmanes del reino normando de Sicilia. Desde allí se extendió a los cristianos de España e Italia, y en el siglo XIV a Alemania y el resto de los países, aunque hasta el final de la Edad Media los centros más importantes de manufactura de papel se encontraban en el norte de Italia.

El papel más primitivo fue llamado pergamino de tela, pero de hecho sus materias primas, que tenían que ser de naturaleza fibrosa, incluían tanto paja y madera como lino o algodón. El primer procedimiento consistía en convertir el material en pulpa a base de golpes, y mezclarlo con agua para separar las fibras. Ya en 1150 esto se hacía con el molino de pisones, lo que se cree es originario de Játiva, en España, molino que utilizaba una rueda y levas para levantar y dejar caer los mazos en los morteros. Al principio el molino era movido a mano, más tarde con energía eólica o hidráulica. Se le hizo también más eficiente con la adición de púas para rasgar los trapos que constituían la materia prima. En el siglo XVII este procedimiento para fabricar pasta fue muy mejorado con la introducción de la «pila holandesa», en la que los trapos eran hechos trizas con cuchillas montadas sobre un cilindro rotativo. Luego, se transfería la pasta a una tina y se removía continuamente para asegurar una mezcla uniforme. El papelero la metía entonces en un molde

rectangular, cuyo fondo estaba formado por cierto número de alambres muy tensos: en el siglo XV tenían unos 112 alambres por dm, pero este número se aumentó gradualmente para producir un papel más fino. Al escurrir el agua del molde, las fibras se enfurtían entre sí para formar la hoja de papel. Hacia 1285 había comenzado en Italia la práctica de coser una figura de alambre en el molde de modo que la textura del papel incorporase algún tipo de signo: la filigrana (fig. 106). Las hojas sucesivas se

Fig. 106. Filigrana atribuida a Tycho Brahe.

quitaban del molde y se colocaban entre capas de paño de fieltro. Cuando daban un grueso determinado se las estrujaba dentro de una prensa (fig. 107), se dejaban secar colgándolas y quizá se terminaban frotándolas con una piedra lisa. La mejora de la superficie por medio del encolado se introdujo en el siglo XVI, utilizando las sobras de los curtidores, y poco después de 1700 se emplearon rodillos de madera para completar el acabado. Ya en el siglo XV una hoja de papel (8 páginas en octavo) costaba sólo cerca de un penique incluso en Inglaterra, adonde la manufactura llegó muy tarde; aproximadamente a partir de 1650 la práctica de empapelar las paredes de las habitaciones incrementó la demanda.

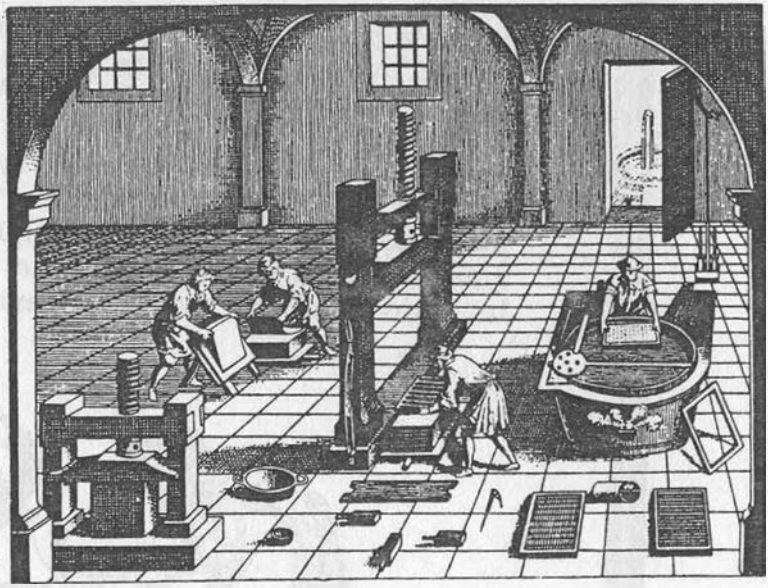


Fig. 107. Papeleros franceses de mediados del siglo XVII.

LOS ORIGENES DE LA IMPRENTA

El impacto de la imprenta fue tremendo. La producción de libros durante los primeros cincuenta años después de su descubrimiento fue, casi con seguridad, mayor que en los mil años precedentes. Además de su enorme significado para la religión, la política y las artes, fue éste un avance tecnológico que facilitó todos los demás que le siguieron. Es, por tanto, decepcionante, y quizá sorprendente, encontrar que el origen preciso de una invención que hizo época es todavía incierto. Ni tan siquiera es posible determinar con exactitud hasta dónde influyeron en el mundo occidental unos descubrimientos que, sin duda alguna, tuvieron lugar primero en el Oriente Lejano.

La estampación precedió ciertamente a la tipografía. Los romanos, por ejemplo, tallaban modelos en bloques de madera, con los que estampaban dibujos

en yeso y hacían productos textiles estampados. Al final del siglo XIII, la circulación de papel moneda impreso en el Imperio mongol, descrita por Marco Polo, se hizo familiar en la práctica a los comerciantes del norte de Italia, que realizaban muchos negocios con el Oriente, por medio de su intento de introducción en Persia. En el Oriente Lejano se utilizaba también la impresión por xilogragía para naipes y amuletos religiosos. Mientras que pueden existir pocas dudas sobre el hecho de que la existencia de la impresión en Oriente fuera conocida en Europa bastante antes del siglo XV, no se sabe si su técnica era también conocida. Sigue siendo una interrogante la cuestión de si tanto la idea como el método derivaron de Oriente o si hubo una invención europea de la imprenta *independiente*. En cualquier caso, hacia 1400 se imprimían en Venecia tanto los naipes como las estampas de santos, y también en las ciudades del sur de Alemania. Como las estampas religiosas se encuadernaban a veces en libros, es natural suponer que los libros religiosos xilográficos —libros hechos grabando páginas de inscripciones sobre madera— precedieron de igual forma a lo que se denomina comúnmente la invención de la imprenta. Pero de los libros xilográficos que sobreviven, ninguno es ciertamente anterior a 1470.

Hay cuatro requisitos previos a la impresión normal. De dos de ellos —una plancha que lleve el diseño deseado en relieve, y el papel al que se tiene que transportar el modelo— ya hemos tratado brevemente. Los otros dos son la tinta apropiada y una prensa para traspasar la tinta desde las partes en relieve de la plancha al papel.

La impresión más primitiva se hizo con una tinta aguada similar a la utilizada por los escribas (página 381), pero las propiedades físicas de ésta no son apropiadas para el nuevo procedimiento. Es difícil extenderla uniformemente sobre una plancha de madera para imprimir, y esta desventaja llegó a ser grave cuando se empezó a utilizar metal, porque

sobre este tipo de superficie las soluciones acuosas tienden a reunirse en gotitas. Más aún, había que usar un papel absorbente, y, como la absorción tiene lugar tanto lateralmente como en profundidad, el resultado era una impresión no sólo imprecisa, sino que traspasaba el papel. Además, la viscosidad del agua es relativamente baja, de modo que el papel tendería a deslizarse sobre la superficie de la plancha mientras se efectuaba la transferencia de la tinta mediante presión, contribuyendo así aún más a una impresión pobre. La mayor parte de estas dificultades se vencieron utilizando una tinta al aceite, hecha batiendo aceite de linaza hervido junto con negro de humo o con carbón vegetal en polvo. Se piensa que la utilización del aceite de linaza pudo haber sido sugerida por la que hacían de él como barniz los primitivos flamencos del siglo XV, y el descubrimiento pudo haber sido aplicado para entintar planchas de madera antes de la época de Gutenberg, a quien le ha sido generalmente atribuido a partir de 1499; en cualquier caso, el resultado fue una tinta empleada durante más de cuatro siglos. Originalmente la presión necesaria para transferir la tinta de la plancha al papel se conseguía frotando el revés del papel con una almohadilla de cuero; pero pronto fue sustituida por una prensa de husillo, con la que podía conseguirse una presión mayor y más uniforme. Para esta prensa era esencial la tinta al aceite, ya que sin ella hubiera existido un riesgo demasiado grande de que el papel se moviese durante la operación.

La prensa ya era familiar, pues se utilizaba, por ejemplo, para prensar el lino o para hacer el papel, y en principio sólo requería una modificación superficial para su nueva función. Pero al desarrollo de la impresión contribuyó considerablemente más tarde a la introducción del «tímpano», un bastidor cubierto de pergamino al que se fijaba el papel antes de imprimir. El tímpano estaba engoznado de tal

forma que bajaba el papel al mismo nivel exactamente que los tipos, y cuadrando con éstos (fig. 108).

Lo que se ha dicho más arriba se refiere a los orígenes de la impresión en relieve, sobre la que descansaba el futuro, pero la técnica de la impresión en hueco —esto es, tallando un diseño en una superficie, dejando la tinta sólo en los cortes o huecos, y pasando el perfil de los cortes a una superficie suave y absorbente— es también antigua. A partir del mundo antiguo, los orfebres y plateros estaban

Fig. 108. Impresores trabajando, con caja de tipos y tímpano. Frankfurt-am-Main, 1658.

acostumbrados a embellecer sus productos con líneas grabadas con un instrumento llamado buril; se podía utilizar para imprimir una plancha de metal grabada de esta forma y entintada. A su vez, existía también el procedimiento de grabación al aguafuerte, practicado por los armeros del siglo XV. En este procedimiento, la superficie que se iba a decorar se cubría primero con una película resistente al ácido. Luego se trazaba el dibujo traspasando la película de forma que la parte del metal que había de quedar grabada permaneciera expuesta a la ac-

ción del ácido, que lo «mordía»; si era necesario, algunas partes del dibujo podían ser acentuadas trabajándolas con un buril o con sucesivas aplicaciones de ácido. Se cree que el grabado al buril más primitivo podría datar de alrededor de 1346; el grabado al aguafuerte, que preparó el camino para el aguafuerte, es de alrededor de 1500. De esta forma, la noción de la imprenta estaba siendo desarrollada en el siglo XV sobre una segunda base bastante distinta de la impresión en relieve, aunque de hecho la última demostró ser un método más económico tanto para la impresión de ilustraciones como para imprimir con tipos móviles.

Aunque los fabricantes de libros impresos desarrollaron rápidamente el arte de adornarlos con ilustraciones, planos, diagramas y mapas, todos los cuales se tallaban en relieve sobre planchas de madera (normalmente de boj) o de metal (generalmente de cobre, pero a veces de latón o plomo), fue, por supuesto, la invención de la impresión tipográfica con tipos móviles lo que en algún momento de la mitad del siglo XV produjo el libro moderno. La plancha en relieve hizo posible reproducir un complicado sistema de líneas, pero cada una de estas planchas, realizadas a base de un trabajo muy delicado, servía para un solo objetivo. Los tipos móviles, en cambio, tenían tres ventajas. En primer lugar, podían utilizarse repetidamente, siendo limitado su período de utilización sólo por el desgaste gradual. En segundo, el material era fácilmente renovable y a poco coste, ya que cada letra, una vez diseñada cuidadosamente, podía ser reproducida en un molde (fig. 109). En tercer lugar, la intercambiabilidad precisaba de una normalización en el tamaño y la forma de las letras: tal uniformidad, que es tan a menudo una característica poco atractiva de los modernos artículos producidos en serie, es una ayuda positiva para el lector de la página impresa.

¿Cómo llegó a producirse este gran cambio? La fabricación de letras o símbolos simples debe haber

sido una práctica establecida hacía mucho tiempo. Si las inscripciones de las peanas de los santos se dañaban, se quitarían las letras y se encolarían otras nuevas, para evitar así volver a hacer el bloque entero. Sería sorprendente que ningún artesano de naipes primitivo hubiera pensado en hacer una sola plancha de madera tallada que representase el símbolo de cada palo, y en estampar con él un molde de arcilla, de modo que pudiese reproducir el símbolo echando dentro plomo o estaño. Pero en tales casos el resultado sería tosco, mientras que la impresión de libros a partir de los tipos móviles requiere tipos que encajen entre sí con completa regularidad en cada una de sus seis superficies.

Fig. 109. Fundidor de tipos vertiendo metal fundido en un molde, 1568.

Es probable que los cambios decisivos fueran el resultado de la obra de más de un experimentador. Johann Gutenberg, el orfebre de Estrasburgo que retornó a su Maguncia natal alrededor de 1446, está claramente definido como un personaje activo y amigo de litigios; pero podría muy bien ser que Johann Fust, su colega y en alguna ocasión su socio,

que algunos suponen le robó la técnica a Gutenberg, hubiera de hecho experimentado independientemente en un período anterior. Algunos ejemplares impresos en Holanda, que podrían ser anteriores a cualquiera de los producidos por Gutenberg y Fust en Maguncia, podría ser la obra de un tercer experimentador independiente. Coster de Haarlem, o de varios artífices diferentes no ubicados necesariamente en Holanda: se sabe que se estaba efectuando algún trabajo de este orden en el sur de Francia. Lo que de todas formas está claro es que la primera imprenta a gran escala en el sentido moderno fue la establecida en Maguncia y asociada en un principio con los nombres de Gutenberg y Fust. Hacia 1448 como muy tarde, estaban utilizando unos tipos precisos, que podían producir en cantidad suficiente como para imprimir la Vulgata.

Parece probable que los impresores de Maguncia comenzaran su confección de tipos con el uso de punzones de acero, que podían serles familiares como orfebres a causa de su obligado uso en la acuñación, aunque también se usaron punzones de cobre para confeccionar tipos en un período temprano. En aquella época se golpeaba el punzón con un martillo sobre un metal más blando, como el plomo, y la matriz así formada se insertaba en el molde de tipos, cuyo tamaño correspondía lo más exactamente posible al tamaño de los tipos que debían ser fundidos. No se conoce con precisión el metal en el que se fundían con este procedimiento los tipos primitivos, pero con toda probabilidad se trataba de la aleación a base de estaño y con una pequeña parte de bismuto que era empleada hacia el siglo XV por los peltreros. Se sacaban entonces los tipos del molde y se limaban en el pie —el extremo que estaría más arriba en el molde— para darle la altura exacta requerida: ésta era aproximadamente de 25 milímetros, aunque pasó mucho tiempo antes de que se hiciese una normalización. Incluyendo las letras ligadas y las abreviaturas, tenían que prepararse más

de 150 caracteres para cada tamaño de tipos, y la confección de un solo modelo era trabajo de días más que de horas. En cuanto a la composición, se estima que la preparación de una página de la Biblia de Maguncia en estos tipos no perfectamente regulares llevaría a un hombre todo un día. La composición se hacía de forma muy similar a como se hace la composición manual hoy día. El cajista cogía las letras una a una con unas pinzas y las colocaba línea por línea en un componedor. Las líneas compuestas se colocaban sobre una superficie plana llamada galerín o galera, que se sujetaba con el realce de los bordes o ramas: se sacaba una prueba y se corregía; y entonces el trabajo estaba ya preparado para imprimir, imprimiéndose en cada hoja de papel de dos a dieciséis páginas, de acuerdo con el tamaño deseado.

Tal era la técnica del impresor del Renacimiento, que aportó nueva vida a un mundo en el que el latín no era todavía una lengua muerta. Cuando tantas cosas han cambiado, representa un eslabón interesante entre el siglo XX y el XV el hecho de que el corrector de pruebas todavía indica sus instrucciones al cajista en abreviaturas que proceden directamente de la lengua culta. El nombre de uno de los tipos en el que este último compone proporciona un segundo eslabón con el pasado, ya que el tipo romano fue introducido antes de 1500 como reacción humanista contra el llamado tipo gótico, que habían utilizado Gutenberg y otros imitando la angulosa escritura gótica, común en su época. Lo que preferían los humanistas del Renacimiento era la aproximación más cercana posible a la cursiva de la antigua Roma, verbigracia, la cursiva carolingia del siglo IX en la que se habían copiado muchos de los manuscritos clásicos conservados. Algunos de los tipos romanos más primitivos estaban trazados con una habilidad y arte sorprendentes; en realidad, se ha dicho que los diseños que hizo el francés Nicholas Jenson, en 1470, no han sido nunca igualados. En

cualquier caso, desde la introducción de la itálica —planeada como otra imitación más de la cursiva romana— por la imprenta Aldina en Venecia en 1495, la historia del tipo de imprenta es la historia del desplazamiento, muy gradual, del gótico de sus fortalezas en la Europa central y del norte; la historia de una gran experimentación en los detalles —bajo Luis XIV, por ejemplo, la Academia Francesa de Ciencias hizo dibujar con mucha precisión nuevas letras sobre fondos recuadrados minuciosamente—; y de un conservadurismo fundamental del que muestra pocos paralelos la industria moderna.

EVOLUCION, 1500-1750

En 1450 la impresión de libros estaba todavía en su primera infancia, pero en 1500 había ya registradas casi 40.000 ediciones de libros, e incluso, aunque más de los dos tercios de éstos provenían de las imprentas de Alemania e Italia, había otros doce países europeos en los que para entonces estaba ya establecido el arte de imprimir. En los dos siglos y medio siguientes, el progreso, como era de esperar, fue mucho más lento: se calcula que todas las mejoras menores juntas que se habían introducido no posibilitaban que se llevase a cabo una pauta de trabajo más de tres o cuatro veces más rápida que en el siglo XV. Lo más sorprendente es que la calidad media de la imprenta al principio del siglo XVIII estaba muy por debajo del mejor trabajo producido en Maguncia en los tiempos más tempranos de la misma.

Una mejora del siglo XVI que salta a la vista del lector fue la reducción en el número de letras ligadas, y con la reducción en el número de unidades precisas surgió la práctica moderna de montar los tipos a partir de un par de cajas, de las cuales la «caja baja» incluía todas las letras minúsculas colocadas en compartimentos, guardando el más grande

y accesible de éstos las letras requeridas con mayor frecuencia. Se convirtió en práctica normal realizar la matriz sobre cobre con un punzón de acero, de modo que el molde fuera más exacto, con lo que no se precisaba pulimentar tanto las letras después de fundirlas. Se empezó a utilizar una aleación de plomo y antimonio, parecida al metal de los tipos modernos; y con el establecimiento de la fundición de los tipos como negocio separado, se tendió después de 1600 hacia un cierto grado de normalización de aquéllos.

La prensa de imprimir de madera (fig. 110) experimentó diversas mejoras. Una de ellas consistió en que se hizo mover por raíles la platina con los tipos.

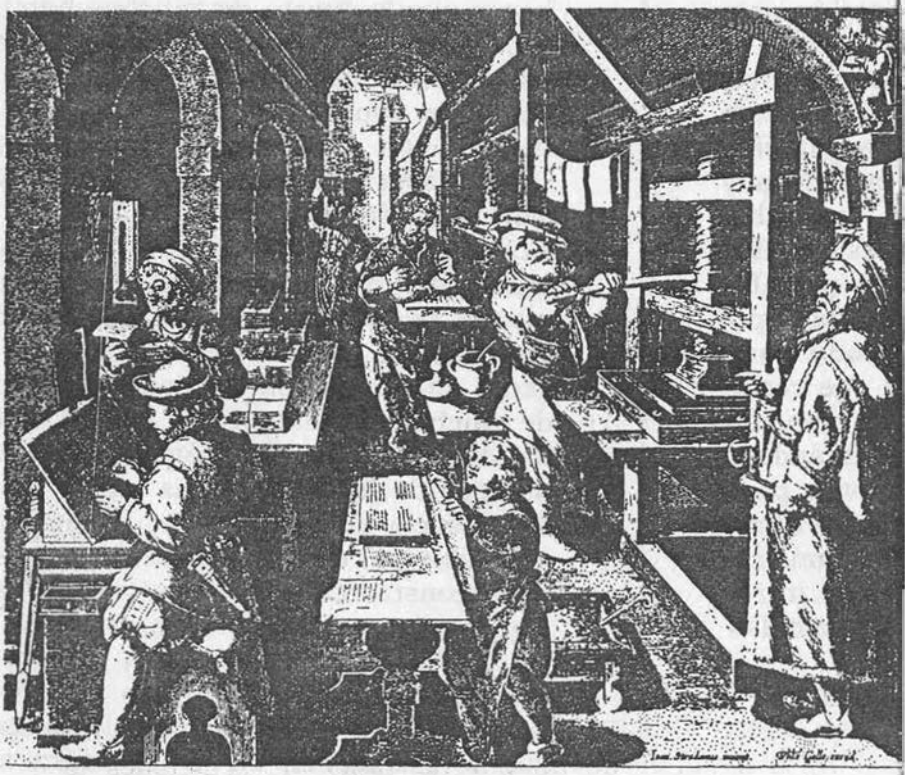


Fig. 110. Trabajos de imprenta. Alrededor de 1590. Stradanus, *Nova Reperta.*

Otra fue la introducción de la cárcel, que consistía en un bloque de madera hueco a través del cual pasaba el husillo de la prensa, al que estaba unido el cuadro (la parte superior de la prensa) para evitar el peligro de que se torciese en el momento de la impresión. Al mismo tiempo la platina acabó siendo fabricada en piedra, en la que podía conseguirse fácilmente una superficie lisa, como en la actualidad. En la medida en que puede hablarse de un modelo específicamente nuevo de prensa, ésta fue la llamada prensa holandesa, introducida por el editor, geógrafo y astrónomo de Amsterdam W. J. Blaeuw. Esta prensa tenía un mecanismo de enrosque perfeccionado y una cárcel de diseño bastante distinto; fue utilizada extensamente en los Países Bajos, y fue la primera que llegó a Norteamérica. Pero en Inglaterra las prensas continuaron teniendo durante mucho tiempo una cárcel grande y cuadrada al viejo estilo.

Hubo perfeccionamientos interesantes en el campo de la ilustración. Dos de los grandes artistas, Durero y Rembrandt, hicieron uso de una técnica de grabado con la cual sólo podía hacerse un pequeño número de impresiones. Este procedimiento es el que se llama de «punta seca», hecho con una punta de acero, y dejando normalmente el material extraído a un lado de la muesca o surco de manera que tome más tinta y la línea se suavice. Rembrandt y sus compatriotas son generalmente asociados con el desarrollo del aguafuerte, esto es, la técnica de dibujar ligeramente con una aguja sobre una superficie de metal protegida por una fina película, a la que se aplica ácido de modo que se «coma» el metal de las líneas. El dibujo se perfecciona volviendo a proteger el metal, delineando de nuevo el dibujo y volviendo a grabar. Luego vino la mediatinta, cuyo inventor, L. von Siegen, hizo una demostración para el exiliado príncipe Ruperto en 1654: figura, de todos modos, como la «nueva forma de grabar del príncipe Ruperto» en la lista de «secretos muy raros

y exóticos», al final del catálogo de oficios presentado ante la Royal Society por John Evelyn en enero de 1661. Este, como el grabado a la punta seca y el aguafuerte, es un sistema de trabajo en hueco, hecho con una serie de herramientas de acero dentadas, con las que se trazaban muescas entrecruzadas sobre la plancha en diferentes direcciones.

De estos otros procedimientos, sólo el aguafuerte podía ser utilizado para hacer tiradas importantes, pero el grabado en dulce vino a desempeñar un papel cada vez mayor en la ilustración de libros siempre que se requerían líneas finas. A menudo se imprimían en hojas separadas —de aquí el nombre de «planchas»— pero a partir del siglo XVI comenzaron a incorporarse al texto ilustraciones de este tipo. El trabajo de hueco requería una fuerte presión para asegurarse de que el papel recibiera la tinta, que tenía que ser lo suficientemente ligera como para correr por las ranuras más finas. Para conseguir esto fue diseñada la prensa de rodillos, que era parecida a una calandria: la plancha grabada y entintada y el papel humedecido se colocaban sobre una tabla de madera, y todo se hacía pasar entre los rodillos haciendo girar el de arriba. En dos casos especiales el grabado reemplazó de hecho a la impresión tipográfica. Los tipos de música eran demasiado complicados para el cajista ordinario, por lo que resultaba más ventajoso grabar directamente la notación musical sobre placas de cobre o peltre, marcándose los pentagramas primero con una herramienta para rayar. Durante el curso del siglo XVII fue éste el procedimiento normal para la impresión de la música. Fue en el mismo período, también, cuando se introdujo la portada grabada como un gracioso embellecimiento para los libros.

8. FUENTES PRIMITIVAS DE ENERGIA

ENERGIA HUMANA Y ANIMAL

Hasta que el hombre aprendió a domesticar y aparejar los animales de tiro, su única fuente de energía fue su propia fuerza muscular. Cuando la potencia requerida era mayor que la que un solo individuo podía proporcionar, existían dos alternativas, o una combinación de ambas: dispositivos sociales para hacer que la fuerza de muchos hombres se aplicara sobre un solo objeto, e ingenios mecánicos para transformar una pequeña fuerza que actuaba a una distancia considerable en una gran fuerza que actuase a una distancia proporcionalmente más corta.

En mayor o menor grado el dispositivo social ha sido aplicado en todas las etapas del desarrollo político: la caza, la agricultura, el riego y la construcción son ejemplos de tareas que requirieron durante mucho tiempo la organización cuidadosa de la energía humana para la terminación de un trabajo urgente en un tiempo limitado por medio del empleo de muchos hombres. En el campo de la construcción, la edificación de las pirámides muestra que un gran número de hombres podía suplir satisfactoriamente la ausencia de maquinaria; en un campo menos espectacular, el uso de prestaciones personales *(corvée)* en la construcción de carreteras no dejó de darse en algunas partes de Europa hasta la mitad del siglo XIX. Pero una institución particularmente característica del mundo antiguo fue la esclavitud. Es fácil exagerar su importancia, ya que los esclavos que se mencionan en la literatura clásica y en las inscripciones trabajaban en su mayor parte en pequeños grupos, efectuando las mismas funciones eco-

nómicas que los hombres libres. Además, el empleo de cuadrillas de esclavos en las grandes fincas agrícolas, que prevaleció durante un tiempo entre los romanos (p. 30), dejó de ser usual tan pronto como declinó la provisión de esclavos provenientes de las conquistas y aquéllos, por tanto, subieron de precio. Sin embargo, hasta 1795 no se efectuó una encuesta, en las plantaciones de las Antillas, para tratar de obtener una estimación estadística de la desventaja que suponía el hecho de que fuera el miedo el único incentivo para el trabajo: se descubrió entonces que el rendimiento de un esclavo era como máximo la mitad que el de un hombre libre. No obstante, había por lo menos tres aspectos en los cuales la disponibilidad de esclavos mitigaba los efectos de su falta de potencia.

Desde los primeros tiempos de los antiguos imperios, los prisioneros de guerra fueron utilizados en gran escala por los reyes conquistadores para la ejecución de obras públicas por medio de las cuales trataban de glorificar sus reinados: se puede juzgar lo grande que era la tentación de utilizar esclavos del Estado como trabajadores fácilmente sustituibles por el hecho de que en la era industrial los prisioneros de guerra se han utilizado hasta su muerte en la construcción del ferrocarril, tanto en Europa como en Asia. En segundo lugar, la ciudad de Roma, durante el primer Imperio, con quizá 200.000 esclavos en una población total de menos de un millón, es un ejemplo sobresaliente de una sociedad en la que sus servicios hicieron posible un alto grado de lujo en las casas de los ricos e importantes diversiones para todos: por ejemplo, 660 esclavos mantenían los 450 kilómetros de acueductos que suministraban diariamente 173 litros de agua por cabeza. Por último, existió la explotación del trabajo de los esclavos en la minería, trabajo que se utilizó para enriquecer tanto el reino de David y Salomón como la democracia ateniense del siglo v, y que llegó incluso a un lugar tan occidental como la España romana: por estos medios

se obtuvieron los metales de los que dependía en alto grado el progreso, con métodos que llevaban la energía humana al agotamiento. No conocemos los detalles, pero Diodoro Sículo, durante el reinado de Augusto, escribe que en las minas de plata españolas los trabajadores más fuertes eran los más desgraciados, ya que eran los que tardaban más en morir.

Entre los ingenios mecánicos que ayudaban a la fuerza del hombre, la palanca es con mucho el más importante, y el principio en que se basa es el fundamento de casi todas las máquinas. Su origen no se conoce, y la ley de la palanca no fue enunciada hasta los tiempos de Arquímedes, pero incluso el hombre primitivo tuvo que darse cuenta de que los objetos pesados podían moverse metiendo un tronco debajo, apoyando éste en algún fulcro firme situado relativamente cerca del objeto y tirando del extremo libre del tronco. Arquímedes se dio perfecta cuenta de la fuerza que podía generar una palanca: «Dadme un punto de apoyo y moveré el mundo.» En los tiempos antiguos se conocían también otros cuatro ingenios mecánicos relacionados con la palanca, que son descritos de forma completa en la *Mechanica* de Herón de Alejandría, escritor del siglo I d.C. Son la cuña, el tornillo, la polea compuesta y la rueda con un eje. Todos se basan en el mismo principio de la palanca: una pequeña fuerza que actúa desde una gran distancia se transforma en una gran fuerza que actúa desde una pequeña distancia. Dicho de otra forma, cuanto mayor sea el trabajo que se quiera ejecutar, hay que atacarlo a una mayor distancia.

La multiplicación de la fuerza mediante el empleo de cuadrillas de trabajadores es descrita e ilustrada repetidamente en las obras antiguas (fig. 111). Utilizada sola, es ejemplificada por las filas de hombres tirando de cuerdas para mover objetos pesados, tales como los enormes bloques de piedra necesarios en la construcción de grandes edificios y monumentos. Sin embargo, con mayor frecuencia la fuerza humana múltiple se reforzaba con ingenios mecánicos del

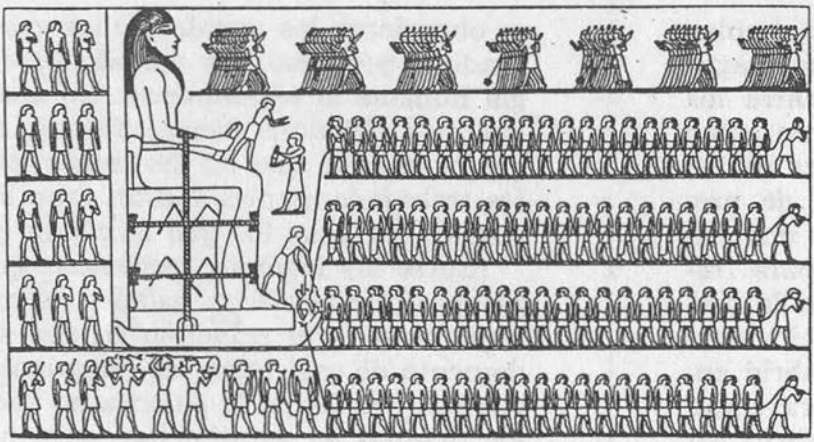


Fig. 111. Uso a gran escala del trabajo en cuadrilla. Egipto. Siglo XX a. C.

tipo antes descrito. En las galeras, por ejemplo, la energía humana se desplegaba a través de palancas: los remos. La palanca se utilizaba en las prensas de alfargo griegas desde el año 1600 a.C. para exprimir el jugo de las uvas y de las aceitunas (véase fig. 16). Las prensas de aceite de Pompeya trabajaban según el principio del tornillo. El principio de la rueda y el eje, en el que una pequeña fuerza ejercida en una circunferencia se transforma en una gran fuerza cerca del centro de la misma, encontró aplicación en el molino de rueda (figs. 112 y 113). Algunas veces el efecto se aumentaba aún más por medio de trenes de engranajes también descritos por Herón, pero su utilidad era muy limitada debido a las pérdidas de potencia que resultaban de los primitivos métodos de construcción. Las limitaciones prácticas no disuadieron a los inventores de diseñar ambiciosos sistemas de engranajes (fig. 114).

Desde los tiempos más remotos el resorte del que existen innumerables ejemplos naturales ha sido un medio muy importante de acumular energía y soltarla de repente cuando se necesite. Su primer uso conocido, de importancia continuada durante muchí-

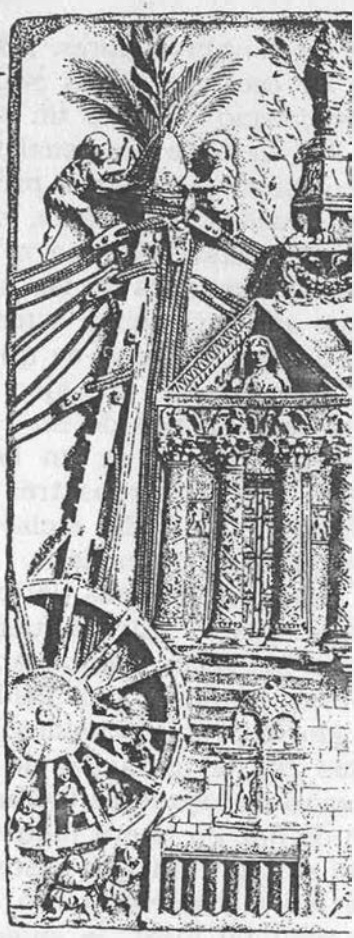


Fig. 112. Grúa movida por un molino de rueda. De una talla romana de alrededor del año 100 d. C.

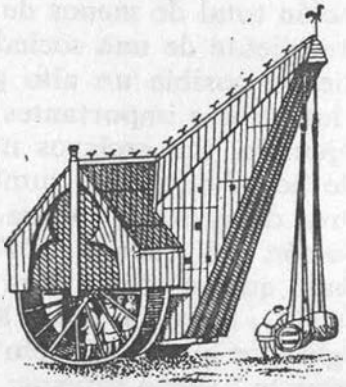


Fig. 113. Grúa utilizada en Brujas, probablemente de principios del siglo XV. Comparándola con la fig. 112 se puede ver lo poco que habían cambiado las máquinas de este tipo a lo largo de bastante más de mil años.

simos siglos, fue el arco, utilizado para disparar flechas en la caza y en las batallas. La primera representación inequívoca del arco, en los tiempos paleolíticos, proviene del norte de Africa. En su forma más simple, el arco consiste en una tira de material elástico, tal como madera o asta, en disminución desde el centro hacia los extremos. En formas más elaboradas se utilizaron diversos materiales, atados y pegados. El corto «arco turquesco» era un arco compuesto, diseñado para dispararlo desde el caballo, y al mismo debieron los invasores asiáticos de Europa gran parte de sus notables éxitos militares en la Edad Media. Se dice que su alcance superaba con mucho el del famoso y mortal *long-bow* (arco largo) inglés, que parece ser que tuvo su origen en Gales y estaba realizado comúnmente en madera de tejo.

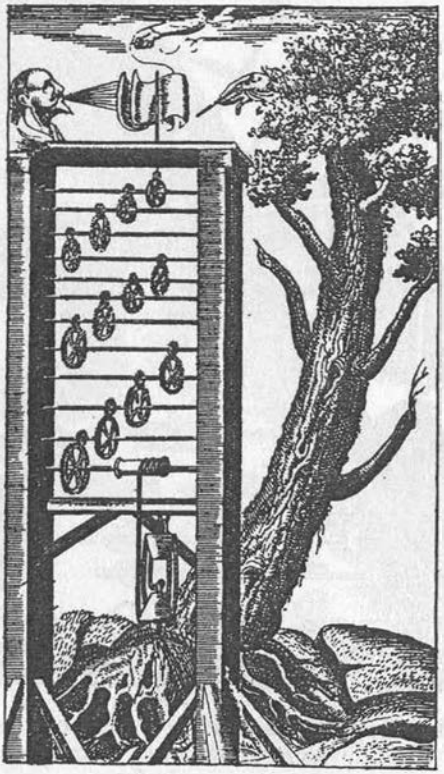


Fig. 114. Diseño fantástico para desarrollar suficiente fuerza a partir del viento con objeto de desarraigar un árbol utilizando engranajes. Año 1680.

La efectividad del arco simple, sea cual fuere el material de que esté construido, está limitada por la fuerza de los brazos humanos, y la potencia de las flechas disparadas con él se podía neutralizar fácilmente por medio de armaduras y escudos más pesados. Para dar a la flecha mayor poder de penetración se inventaron diversos tipos de ballestas en las que se producía la tensión por medio de alguna clase de manivela o palanca. Se necesitaba también un mecanismo llamado nuez para mantener el muelle en tensión hasta el momento del disparo; aunque esto produjo un arma mucho más potente, la lentitud en la descarga neutralizaba las ventajas.

Diversas armas de este tipo se fueron desarrollando en tiempos remotos, tanto para su uso manual como para utilizarlas a modo de artillería. Una de las más antiguas armas mecánicas manuales, el «escorpión», que probablemente fue una evolución de la ballesta, parece haber sido muy utilizada en el siglo II a.C., ya que existen relatos que nos cuentan que 2.000 «escorpiones» cayeron en manos de los romanos a la caída de Cartago. La catapulta, arma de artillería, era fabricada al parecer incluso antes de esa fecha: Dionisio de Siracusa, que fue el primer griego que la empleó, pudo haberla obtenido de sus enemigos, los cartagineses, alrededor del año 400 a.C.

Los materiales de que podían disponer para fabricar la cuerda del arco limitaban la potencia de este tipo de artillería. Para una mayor potencia se utilizaba la fuerza de cordeles retorcidos, hechos preferentemente de pelo de mujer o tendones de animales, como en la catapulta de torsión (fig. 115), que tomaba dos formas con preferencia, diseñadas respectivamente para disparar flechas y piedras; el primero que sepamos que lo usó fue Alejandro en el asedio de Tiro (año 332 a.C.), aunque se supone que los fenicios fueron sus maestros. Herón, Vitruvio y Filón de Bizancio se cuentan entre los que hicieron detallados estudios de estas armas: el último propuso la utilización de muelles de bronce como fuente de ener-

gía, y diseñó asimismo un mecanismo de disparo rápido para las flechas. El uso de muelles de bronce había sido sugerido anteriormente por Ctesibio, que propuso también la compresión del aire en cilindros para dar la potencia necesaria. Aunque esta ingeniosa arma no fue practicable en su tiempo, se puede señalar que su principio era el mismo de las cerbatanas de las tribus primitivas de Asia y América del Sur, y de las escopetas de aire comprimido de los tiempos modernos. Una variante posterior de la catapulta de torsión fue el onagro —llamado así porque era propenso a «dar coces»—, arma de asedio del siglo IV.

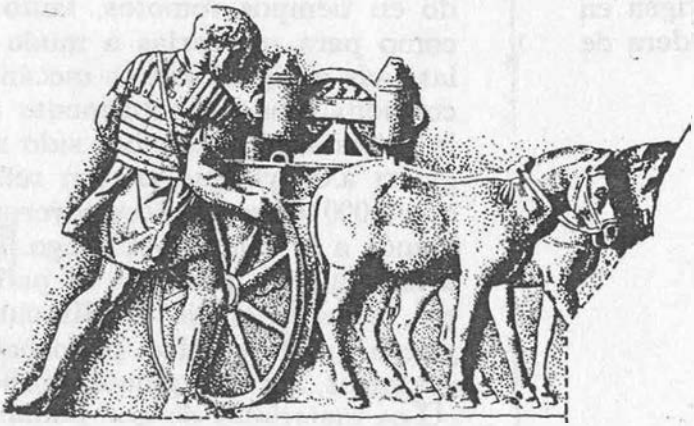


Fig. 115. Catapulta móvil. De la columna de Trajano. Alrededor del año 110 d. C.

Es difícil estimar la potencia de estas armas de artillería, pero en el siglo IV a.C. parecen haber puesto durante algún tiempo en desventaja a la defensa con respecto al ataque, hasta que las murallas de ladrillo y madera fueron reemplazadas por sólidas murallas de piedra labrada; entonces se convirtieron en armas de defensa más que de ataque. Vitruvio recoge datos de catapultas que habían lanzado piedras de hasta 135 kilos de peso, pero esto era segura-

mente excepcional, ya que estas armas normalmente eran incapaces de abrir brechas en murallas sólidas: el proyectil normal sería seguramente una flecha de dos a tres kilos de peso con cabeza de hierro o una piedra de quizá cinco kilos (fig. 116). Las catapultas se utilizaban también para arrojar sustancias inflamables y, más tarde, «fuego griego». Debido a las pérdidas por rozamiento y a su construcción de madera necesariamente pesada, la velocidad de descarga no superaba los 60 metros por segundo. Se utilizaban en gran número, como lo prueba el hecho de que en el ejército romano del siglo IV d.C. cada legión tenía una catapulta móvil con una dotación de once hombres por centuria, y en caso de guerra de asedio un onagro por cohorte, tal como se describe en *De re militari* de Vegecio.

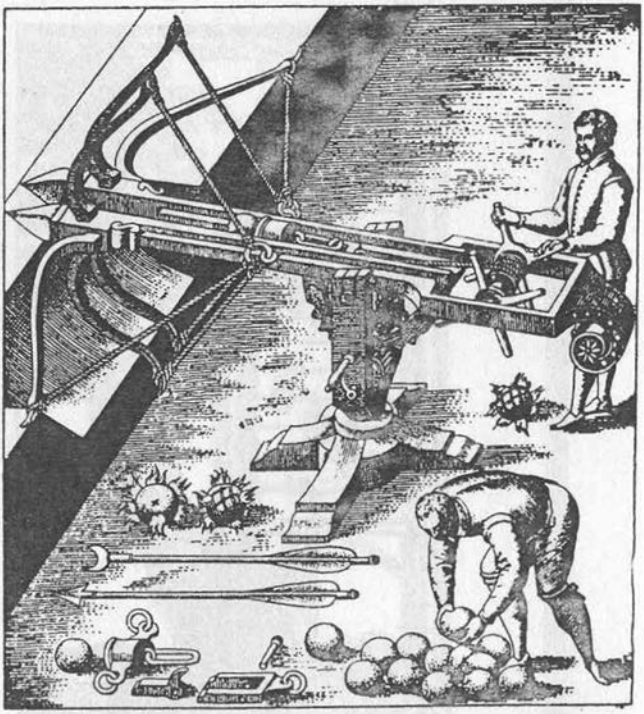


Fig. 116. Ballesta de asedio y proyectiles. Ramelli, *Le diverse et artificiose machine*, 1588.

El resorte como fuente continua de energía para pequeñas máquinas no apareció hasta mucho más tarde. Su primer uso, quizá ya en el siglo XIV, lo tuvo en los relojes que antes habían funcionado por medio de pesas: de ahí el nombre genérico de mecanismo de relojería para los aparatos que funcionan por medio de resortes.

Los antiguos conocían también de forma generalizada otros aparatos para ejercer grandes fuerzas. La fuerza de separación por cuñas de madera, por ejemplo, se podía incrementar mojándolas una vez que se hubieran introducido todo lo que la fuerza humana permitía: el hinchamiento consiguiente de la madera creaba una fuerza mayor. De forma similar era utilizado el hecho de que las cuerdas se contraen cuando se mojan. En minería las rocas se quebraban calentándolas primero con fuego y rociándolas luego con agua: la contracción consiguiente producía grandes fuerzas internas que fracturaban la roca. La dilatación que tiene lugar cuando el agua se hiela era utilizada en agricultura, aunque sin comprender el principio en que se basaba, cuando las heladas invernales desmenuzaban los terrones de la tierra recién arada.

Durante muchos siglos se introdujeron pocos cambios fundamentales en estos ingenios del mundo antiguo. Se hicieron mayores y más complicados, pero la utilización de la madera como material principal en su construcción limitó su desarrollo. El cambio más importante se produjo en la fuente básica de energía: la energía humana fue sustituida poco a poco, primero por la energía de los animales de tiro, y más tarde por la energía hidráulica y eólica. Los molinos movidos por burros, por ejemplo, fueron utilizados ya en el siglo V a.C. para la trituración de la mena en las minas de plata de Laurion, y su uso se extendió hasta la molienda de maíz en Grecia sobre el año 300 a.C. No obstante, las limitaciones de los arreos y las herraduras (pp. 282, 291) afectaban de manera profunda al valor económico del caballo. Bien aparejado, el caballo puede tirar de quince ve-

ces más peso que el hombre, pero con un aparejo del tipo utilizado para bueyes casi no llegaba a cuatro veces más. Además, mantener un caballo costaba aproximadamente cuatro veces más que a un hombre, que a su vez tenía la ventaja de ser mucho más adaptable. En estas circunstancias, no existían muchos estímulos para reemplazar a los hombres por caballos como fuente de energía.

LA RUEDA HIDRAULICA

El molino de agua más antiguo de que tenemos conocimiento es el llamado molino griego o escandinavo. Difiere del tipo que conocemos ahora en que el eje no era horizontal, sino vertical: en el extremo inferior del eje tenía una serie de cangilones o paletas sumergidas en la corriente de agua. Tales molinos eran utilizados principalmente para moler grano. Para este uso el eje pasaba a través de la piedra inferior del molino y estaba directamente acoplado a la superior, a la que hacía girar. Los molinos de este tipo necesitaban un curso de agua rápido, y tuvieron probablemente su origen en las regiones montañosas del Oriente Próximo. Parece que no fueron utilizados en Egipto y Mesopotamia, sin duda porque en estos países los ríos son de curso lento y están sujetos a grandes crecidas y descensos de caudal. Plinio cita la existencia de molinos hidráulicos para moler maíz, situados seguramente en el norte de Italia, que eran probablemente de tipo escandinavo. Se utilizaron bastante en toda Europa durante la Edad Media y en algunas regiones incluso hasta finales del siglo XIX; en las islas Shetland, donde llegó a haber unos 500, se utilizaba todavía uno de ellos en Sandness en el año 1933 (fig. 117). Se les puede considerar como precursores de la turbina hidráulica, invento del siglo XIX, y desde este punto de vista se puede decir que han sido utilizados de forma continua durante bastante más de tres mil años. Los molinos escandi-

navos eran generalmente pequeños y lentos, ya que la piedra giraba a la misma velocidad que la rueda; eran aptos sólo para moler pequeñas cantidades de grano y su utilización debió ser puramente local.

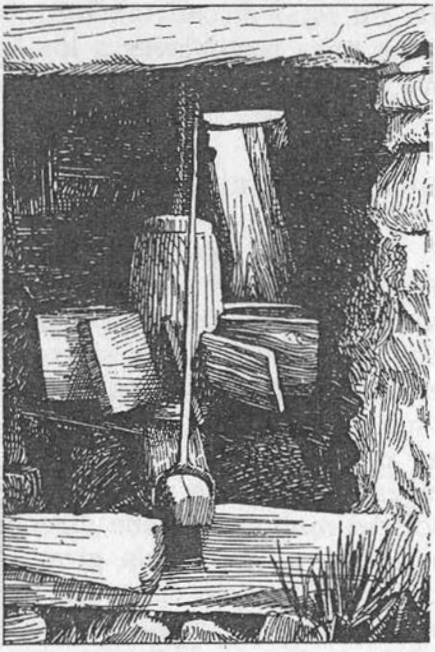


Fig. 117. Molino de agua de tipo escandinavo, Shetland.

Vitruvio propuso en el siglo I a.C. un diseño distinto para el molino hidráulico, con el eje horizontal y la rueda vertical. Quizá se inspirara en el ingenio hidráulico llamado rueda persa o *saqiya*, que consistía esencialmente en recipientes dispuestos alrededor de la circunferencia de una rueda, la cual giraba mediante energía humana o animal, introduciéndolos en el agua. Se utilizaba en Egipto en el siglo II a.C., y Vitruvio debió conocerla bien, ya que describió una eficaz variante de la misma, la rueda de cangilones o noria. La rueda hidráulica vitruviana es esencialmente una rueda de cangilones que funciona a la inversa. Diseñada para moler grano, su rueda se acopla a la rueda de molino giratoria por medio de engranajes de madera, dando generalmente una reducción de

aproximadamente cinco a uno. Los más antiguos molinos de este tipo estaban movidos desde abajo, es decir, la parte inferior de la rueda se introducía en la corriente y giraba impelida por la fuerza de la misma; más tarde se descubrió que era más eficiente la rueda movida desde arriba; en ésta el agua cae sobre la parte superior de la rueda y llena algunos de los arcaduces sujetos en su circunferencia; el peso del agua hace girar la rueda, y, al girar, los cubos llenos se vacían y los vacíos se hunden bajo el agua. Aunque son más eficientes, tales ruedas requieren un equipo auxiliar considerable para proveer el necesario suministro de agua. El arroyo se embalsaba para formar una alberca, desde la cual el saetín llevaba un caudal de agua regulado a la rueda (véase fig. 17). Este tipo de molino suministraba una fuente de energía mayor que ninguna otra disponible con anterioridad, y no sólo revolucionó la molienda del grano, sino que abrió el camino a la mecanización de otras muchas operaciones industriales.

La potencia de tales molinos es difícil de calcular, pero se puede deducir en forma aproximada de su rendimiento. Así, un molino romano en Venafro, del tipo de los movidos por la parte inferior, con una rueda de unos dos metros de diámetro, podía moler unos 180 kilos por hora; este rendimiento corresponde a unos tres cv en las medidas modernas. A título de comparación, un molino movido por un burro, o uno movido por dos hombres, molía escasamente cinco kilos por hora.

En el Imperio romano, ya en el siglo IV d.C., se habían instalado molinos de agua de tamaño muy considerable. En Barbegal, cerca de Arlés, por ejemplo, hacia el año 310 d.C., se encontraban en uso para moler maíz dieciséis ruedas de arcaduces, siendo las dimensiones de las ruedas de unos tres metros de diámetro y casi un metro de anchura. Cada una de ellas movía, por medio de engranajes de madera, un par de piedras de molino: la capacidad total era de casi tres toneladas de grano por hora, suficiente para

satisfacer las necesidades de una población de 80.000 personas. Como la población de Arlés en aquel tiempo era de 10.000 habitantes, está claro que los molinos servían un área muy amplia.

Sorprende un poco que el molino vitruviano no fuera utilizado de forma corriente en el Imperio romano hasta los siglos III y IV d.C.; la explicación quizá se encuentre en las condiciones sociales existentes. Mientras se pudo disponer de esclavos y mano de obra barata de otra procedencia había pocos estímulos para emprender el necesario desembolso de capital; es más, se dice que el emperador Vespasiano (69-79 después de Cristo) se opuso a la utilización de la energía hidráulica porque podría producir desempleo. Cuando no se podía disponer de mano de obra era más fácil utilizar burros o caballos que construir molinos de agua. El posible peligro de esta política se demostró ya en el siglo I d.C., cuando la molienda de grano en Roma se había convertido, como la panadería, en una industria especializada. En aquel tiempo los molinos de grano de los que Roma dependía eran movidos en su mayor parte por caballos y burros: cuando Calígula confiscó los caballos se produjo una gran escasez. En el siglo IV d.C. las circunstancias habían cambiado radicalmente y existía una gran escasez de mano de obra, por lo que la construcción de molinos de agua se convirtió en asunto de interés público. Se puede señalar, de paso, que estas circunstancias se dieron de forma paralela en el siglo XIX, cuando la escasez de mano de obra en los Estados Unidos provocó un fuerte impulso hacia la utilización de maquinaria.

Razones estratégicas llevaron al desarrollo de un tipo de molino conocido como molino flotante, utilizado por Belisario cuando los ostrogodos, durante el asedio de Roma en el año 537, trataron de destruir los acueductos que suministraban agua potable y fuerza para los molinos de grano; las grandes dificultades derivadas de la interrupción en el funcionamiento de los molinos de agua son una indicación

del grado de dependencia respecto de la energía hidráulica. El molino flotante consistía en una rueda hidráulica situada entre dos barcas ancladas en un curso de corriente rápida, en cada una de las cuales había un molino, invención que pudo haber sido sugerida por otra mucho más antigua consistente en un barco propulsado por una rueda de paletas movida por bueyes: el anónimo autor de *De rebus bellicis*, que vivió hacia el año 370 d.C., propuso un ingenio de este tipo. Los molinos flotantes (fig. 118) fueron ampliamente utilizados en Europa, y algunos sobrevivieron hasta tiempos recientes. Se sabe que los «molinos de marea» se utilizaban ya en el siglo XI, fecha en que existía, según testimonios, uno en Dover, pero la mayoría datan del siglo XVIII: como fuentes de energía nunca tuvieron gran importancia.

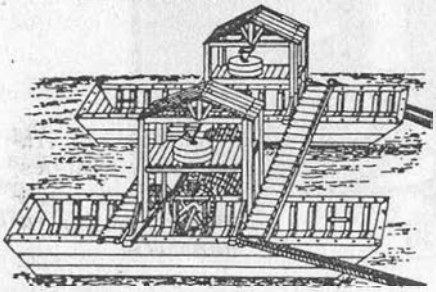


Fig. 118. Molino flotante. Según *Machinae novae*, de Verancio.

Aunque fue la molienda del grano lo que proporcionó el estímulo más importante para el desarrollo de la rueda hidráulica, ésta se utilizó a lo largo y a lo ancho de la Europa medieval para una gran variedad de fines industriales: el *Domesday Book*, por ejemplo, registra no menos de 5.624 molinos de agua en Inglaterra al sur del río Trent, en su mayoría del tipo vitruviano. La energía hidráulica llegó a ser utilizada para serrerías, batanes, bocartes, molinos de martinetes para trabajar el metal (fig. 119), molinos para mover los fuelles de las fundiciones y una gran variedad de aplicaciones. Influyó de manera importante en la distribución geográfica de la industria,

1734

haciendo que los bataneros, por ejemplo, se trasladasen a áreas rurales en busca de arroyos apropiados, y estimulando el crecimiento de establecimientos mayores en la minería y en la metalurgia. La utilización de la energía hidráulica para usos múltiples proporcionó también un impulso al progreso de los sistemas de engranaje y de la maquinaria en general. La importancia de las ruedas hidráulicas para la comunidad se refleja, en casi todos los países europeos, en una compleja legislación sobre el control de los ríos; sin embargo, en el mundo musulmán su uso estaba casi exclusivamente restringido a la irrigación.

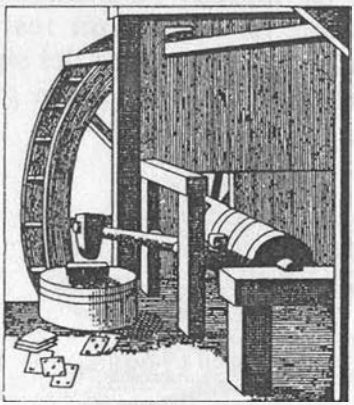


Fig. 119. Martinete de fragua para trabajar metales, movido por agua. Swedenborg, *Regnum subterraneum*, 1734.

La rueda hidráulica conservó su inmensa importancia hasta mucho después del invento de la máquina de vapor, uno de cuyos usos más comunes al principio no fue el de mover la maquinaria directamente, sino el de bombear agua para suministrar un caudal constante a las ruedas hidráulicas (p. 462). Desde el siglo XVI hasta bien entrado el XIX las ruedas hidráulicas fueron las fuentes de energía más importantes de Europa y de América del Norte: en Londres, por ejemplo, se bombeó el agua necesaria desde el río por medio de ruedas hidráulicas instaladas en el Puente de Londres desde 1582 hasta 1822 (p. 609). En realidad la revolución industrial, en vez de hacer que la rueda hidráulica cayera rápidamente en des-

uso, impulsó considerables perfeccionamientos en la misma después de un largo período de cambio relativamente limitado.

EL MOLINO DE VIENTO

El molino de viento, como fuente de energía, no es, con mucho, tan antiguo como la rueda hidráulica. Aparte de una frase de interpretación dudosa en las obras de Herón de Alejandría, no existe evidencia de que el molino de viento fuera conocido en el mundo antiguo. Como fuente de energía mecánica parece haberse originado en Persia en el siglo VII d.C., y derivó probablemente de las «ruedas de oraciones» movidas por el viento que eran utilizadas con anterioridad en el Asia central. Es una creencia razonable, aunque no demostrada, pensar que se inspiró en las velas de los barcos. Estaba firmemente establecido en la provincia persa de Seistán en el siglo X, utilizándose para irrigación; en el siglo XIII, como muy tarde, se utilizaba ya para moler grano. El molino de viento persa tenía, significativamente, el eje vertical, análogo al de la rueda hidráulica griega o nórdica, que se cree también tuvo su origen en el Oriente Próximo. El primitivo molino persa para moler grano era un edificio de dos pisos. En el piso superior estaban las piedras de molino; el inferior contenía una rueda impulsada por las aspas —en número de seis o doce y cubiertas de tela— que movía la piedra superior. Esta disposición de las piedras de molino sobre el eje motor es, como se recordará, característica del molino nórdico, y constituye una evidencia adicional de su relación con él. En la fase primitiva se pusieron postigos en las aspas para controlar la velocidad de giro, ya que una velocidad excesiva generaba tal cantidad de calor por rozamiento que el grano, e incluso las piedras de molino, podían estropearse.

Así como el molino de viento persa parece haber derivado de la rueda hidráulica llamada «nórdica», el tipo occidental, con eje horizontal, pudo haberse

inspirado en la rueda hidráulica vitruviana, ya que los dos tipos de molino, el oriental y el occidental, parecen haber constituido inventos independientes. Un tipo curioso de molino que se encuentra especialmente en Creta y el Egeo puede ser un tipo intermedio, pero con mayor probabilidad se trata de una variación local del molino de torre occidental. Estos molinos mediterráneos tienen ocho o doce aspas de lona, como las velas de un barco, montadas sobre ligeros armazones, y su velocidad de giro se controla recogiéndolas más o menos.

La primera mención de un tipo de molino occidental se encuentra en un documento normando, escrito sobre el año 1180, pero los molinos de viento parecen haber sido corrientes en las llanuras del norte de Europa al final del siglo XIII. El tipo occidental es, básicamente, mucho más eficaz, ya que la presión del viento actúa de forma continua sobre la superficie completa del aspa, mientras que en el tipo persa sólo una parte del área de la vela es operativa en cada momento. Su construcción es más complicada, ya que tiene que ser dotado de un mecanismo para poder encarar las velas al viento. Para esto se utilizaban dos métodos. En el molino de poste o molino alemán —el tipo más antiguo— toda la superestructura, con las aspas y la maquinaria, iba fijada sobre un fuerte poste vertical y giraba sobre él (fig. 120). A finales del siglo XIV se utilizaban los molinos de

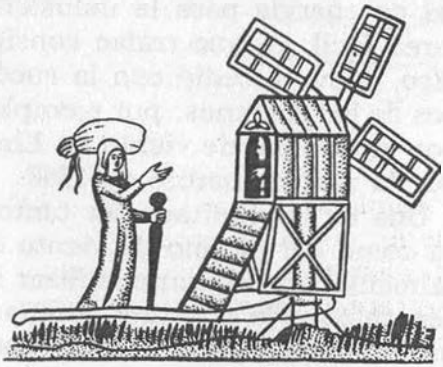


Fig. 120. Molino de poste. De un manuscrito de principios del siglo XIV.

torre; en éstos sólo giraba la parte superior del molino con las aspas, ahorrando un considerable esfuerzo. El cuerpo del molino de torre podía ser de piedra o ladrillo, salvando la necesidad de pesada madera que existía en los molinos alemanes y ofreciendo más resistencia a la fuerza del viento sobre la estructura en conjunto: no obstante, se tiene también conocimiento de molinos de torre construidos de madera. El invento en Holanda del molino de poste hueco en el año 1430 constituyó un importante paso adelante. En este tipo el tamaño de la estructura giratoria se reduce, y por el centro del poste pasa un eje que mueve la maquinaria situada en un compartimiento fijo en la parte inferior.

Una variante del molino de poste fue el llamado molino de poste «hundido», en el cual la parte inferior de la estructura estaba hundida en el suelo: una fuente del siglo XII lo menciona. Su objetivo era, en apariencia, reforzar el molino contra la fuerza del viento, pero existía una desventaja, ya que al estar las velas relativamente cercanas al suelo era difícil muchas veces aprovechar al máximo el viento que hubiera; además la madera era propensa a pudrirse. Este tipo nunca se hizo popular, pero se han descubierto restos en diversas partes de Inglaterra y se conocen también ejemplos en Rusia, Bretaña y Estados Unidos.

La suposición de que los molinos de viento occidentales derivaron de las ruedas hidráulicas vitruvianas se refuerza por la existencia de molinos de viento en Rusia, en los cuales las piedras de molino están situadas sobre el eje motor. Desventajas de este diseño son que las aspas están demasiado bajas para utilizar al máximo la fuerza del viento y que no existe espacio adecuado para el almacenamiento del grano en la parte superior de forma que permita que las piedras lo reciban mediante la fuerza de la gravedad.

Aunque el principio del molino de viento es muy simple, las ilustraciones primitivas permiten observar que su construcción era a menudo tan complica-

da como maciza. El molino de poste estaba construido totalmente en madera, impermeabilizándose la armadura por medio de cubiertas de tablas solapadas. Excepto en los tipos más simples, la parte inferior del molino estaba encerrada a menudo en una rotonda fija que proporcionaba espacio adicional para almacenamiento. Incluso cuando estaba bien equilibrado se requería mucho esfuerzo para poner el molino de poste de cara al viento. Durante mucho tiempo esto se hacía a mano, empujando simplemente un largo palo que llegaba casi hasta el suelo y que salía de la estructura giratoria. Pronto se introdujeron ayudas mecánicas debido a lo pesado del trabajo, consistiendo la primera en un manubrio, primero simple y más tarde con engranajes —hacia la mitad del siglo XVIII se utilizaron para este fin engranajes de hierro colado—, que se podía fijar a cualquiera de los varios postes clavados en el suelo alrededor de la base del molino. El timón, patentado por Edmund Lee en 1745, constituyó un importante paso adelante; consistía en una serie de paletas montadas sobre el palo que movían un par de ruedas por carriles. Las paletas se fijaban de modo que cuando el viento encaraba al molino no ejercía fuerza sobre ellas: cuando el viento cambiaba de dirección las paletas del timón rotaban y hacían moverse a las ruedas por carriles, orientando así automáticamente el molino en la dirección conveniente.

Se utilizaban métodos parecidos para mover la cubierta de los molinos de torre. Algunas veces el palo se fijaba simplemente al interior de la cubierta, pero se utilizaba con mayor frecuencia una sujeción exterior. A menudo se empleaban manubrios simples o con engranajes, o se movía la cubierta por medio de una palanca encajada en una serie de agujeros en su circunferencia interior. También se utilizaba el timón, pero no se aplicó fuera de Inglaterra hasta un siglo después de su invención en este país, e incluso entonces su aplicación se limitó casi exclusivamente a Dinamarca y los Países Bajos.

Como su nombre inglés (*sail*) indica, las aspas de los molinos de viento eran originariamente lonas fijadas sobre armaduras, como en un barco de vela. Su giro podía controlarse recogiendo las lonas lo necesario y cambiando el ángulo de sujeción, pero estas aspas eran difíciles de manejar cuando se presentaban tormentas imprevistas. También se utilizaban comúnmente postigos de madera, que eran más robustos y más fáciles de ajustar. El eje que portaba las aspas estaba normalmente inclinado hacia arriba con un ángulo de 5 ó 10 grados respecto a la horizontal, para impedir que las puntas de las aspas chocasen con la estructura del molino. El número de aspas era muy variable: lo más corriente eran cuatro, pero se empleaban a veces dieciséis, siendo seis también un número muy común especialmente en el Mediterráneo y en Rusia.

Los primeros molinos se utilizaban para moler grano, pero desde el siglo XV su uso más importante lo constituyó el bombeo de agua, especialmente en el distrito holandés de Zaan, donde existían 700 molinos de viento al final del siglo XVII (fig. 121) y más de 900 justo antes de la aparición de la máquina de vapor. Las Provincias Unidas llegaron a tener, en total, 8.000 molinos de viento. Los molinos de viento se utilizaron para otros usos, como la impulsión de sierras mecánicas —la primera en Holanda en el año 1592— y la extracción de materiales de las minas. La introducción de los molinos de viento como fuente general de energía para la industria no fue siempre una tarea fácil, ya que traían consigo el miedo al desempleo, como sucedió con la rueda hidráulica en tiempos de los romanos: por ejemplo, una serrería movida por un molino de viento en Limehouse fue destruida por la muchedumbre en 1768.

Una de las limitaciones tanto de la rueda hidráulica como del molino de viento consistía en que generalmente era necesario utilizar *in situ* la potencia que generaban. No obstante, existían sistemas para transmitirla de un punto a otro, con frecuencia a distan-

Fig. 121. Molinos de poste y de torre en los Países Bajos. Hacia 1590. Stradanus, *Nova reperta.*

cias considerables, pero las pérdidas de energía tenían necesariamente que ser muy altas: un ingenio de este tipo se muestra en la fig. 122.

Lo mismo que sucede con la rueda hidráulica, es difícil calcular la producción de energía de los molinos de viento. Un gran molino de viento holandés del siglo XVIII, con un diámetro de aspas de 30 metros, generaría probablemente 10 cv con un viento de 32 kilómetros por hora de velocidad. Los molinos más pequeños, con un diámetro de siete metros, probablemente producían unos 5 cv. Consideraciones teóricas demuestran que el molino de viento en su forma tradicional no podía proporcionar, como máximo, más de 30 cv. No era, por tanto, un mecanismo potente según los niveles modernos, y una parte importante de la potencia se disiparía necesariamente en el tosco sistema de transmisión, incluso después de que se empezaran a utilizar engranajes de hierro.

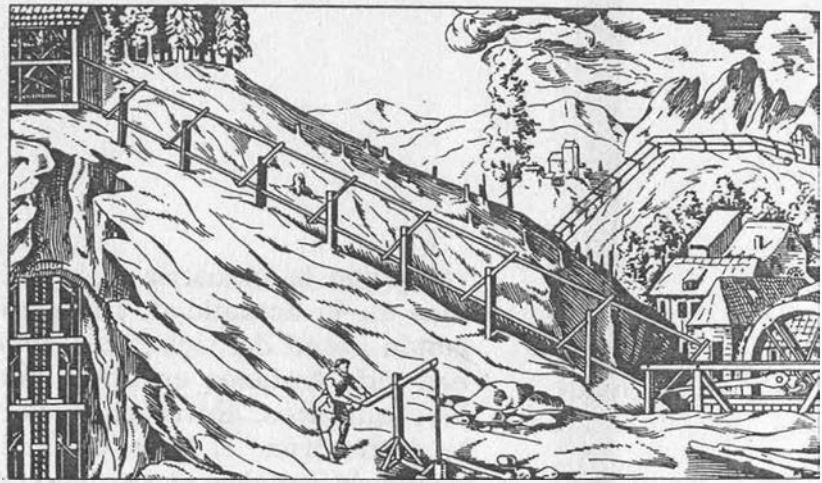


Fig. 122. Transmisión de energía a larga distancia. Siglo XVII

Esto resulta menos sorprendente cuando se tiene en cuenta que los artesanos que construían y tenían a punto estas estructuras trabajaban sin ningún cálculo científico. La descripción técnica completa más antigua de un molino de viento es la que se da en la segunda edición de un tratado de carpintería francés del año 1702; el diseño de las aspas fue investigado científicamente por primera vez por Smeaton en 1759. Sin embargo, los constructores de molinos, que no utilizaban más equipo que un gato de palanca para grandes pesos y un aparejo de poleas, fueron los antecesores del moderno ingeniero mecánico.

La potencia del molino de viento típico oscilaba evidentemente entre los 5 y los 10 cv, y ésta es, como hemos visto, en cálculo aproximado, la potencia de la rueda hidráulica típica. Como las ruedas hidráulicas y los molinos de viento eran las únicas máquinas motrices importantes de los tiempos antiguos, es justo decir que la revolución industrial fue acometida con unidades de energía que no podían generar más de 10 cv. La potente máquina de vapor no desempeñó un papel importante hasta mucho después del inicio de la revolución industrial.

9. LOS ORIGENES DE LA INDUSTRIA QUIMICA

Aunque la industria química, tal como la conocemos en la actualidad, comenzó realmente en la segunda mitad del siglo XVIII, muchos procesos que ya han sido tratados en otros capítulos implican cambios químicos. Entre ellos, por mencionar algunos, se encuentran: el tinte, el curtido del cuero, la fundición de metales, el vidriado en cerámica y la fabricación del vidrio. El hecho de que estos procesos hubieran llegado a un alto grado de perfección mucho antes de que la revolución química empezara a dar base científica a la química, a finales del siglo XVIII, constituye un importante recordatorio de que la tecnología y la ciencia aplicada son dos cosas completamente distintas; las tecnologías pueden estar muy avanzadas, utilizando métodos empíricos, mucho antes de que se comprendan claramente los principios fundamentales en que se basan.

Si bien la química como ciencia exacta es relativamente moderna —si es necesario fijar una fecha precisa, se puede decir que comenzó con la clara definición de un elemento químico dada por Robert Boyle en su obra *Sceptical chymist*, escrita en el año 1661—, sería equivocado creer que existió una transición bien definida del empirismo a la ciencia. La teoría química se construyó sobre unas fuertes bases de conocimiento elaboradas trabajosamente, a lo largo de los siglos, por hombres prácticos y, en un nivel más alejado de la realidad, por los alquimistas, con su infructuosa preocupación por la transmutación de metales viles en oro y la preparación del elixir de la vida. Los químicos conocidos como yatroquímicos, de la escuela paracelsiana del siglo XVI,

más realistas que los alquimistas, aunque menos ambiciosos, consideraban la química principalmente como un auxiliar de la medicina.

La tecnología trata principalmente de procesos de transformación: la transformación de las materias primas en artículos útiles o agradables estéticamente. Hasta ahora hemos considerado en general procesos esencialmente físicos, en los que la materia prima cambia de forma pero no de identidad; esta amplia generalización se aplica a procesos tan variados como la talla del sílex para construir una punta de flecha, la conversión de la madera en muebles o barcos, la fundición de hierro para hacer un cañón o la transformación de una ampolla de cristal en una copa finamente tallada. En cambio la tecnología química trata principalmente de la transformación de una sustancia en otra que tiene una constitución y unas propiedades diferentes; ejemplos típicos son la conversión de la grasa en jabón, de la sal en sosa y de la anilina y otras sustancias relacionadas con ella en tintes. La separación de las sustancias de las impurezas asociadas con ellas —por ejemplo, la extracción del álcali a partir de las cenizas de plantas— es también una rama importante de la tecnología química. Aunque es conveniente considerar la tecnología química como la ciencia que comprende los procesos de transformación y purificación química, es necesario quizá advertir que no existe, incluso hoy, acuerdo general sobre cuáles son los límites precisos de la industria química, y por tanto no violaremos ninguna definición convenida si aprovechamos la oportunidad para examinar otros temas relacionados con la química. No necesitamos preocuparnos aquí de los metales: aparte del hecho de que el mundo antiguo utilizaba los metales en su estado natural de forma generalizada, la extracción de los metales a partir de las menas, donde se encuentran combinados con otros elementos, no se considera normalmente, por razones no muy lógicas, como perteneciente al campo de la industria química. Hemos

observado esta convención y descrito en otro capítulo la extracción de los metales a partir de sus menas respectivas.

LA INDUSTRIA QUIMICA EN LOS TIEMPOS ANTIGUOS

No es posible fijar el principio de la industria química, porque en los tiempos más remotos de los que disponemos de evidencia arqueológica y de testimonios escritos ya se utilizaba un número considerable de productos y procesos químicos. Tanto en los tiempos antiguos como hoy en día, la población en general necesitaba relativamente pocos productos químicos; la mayor cantidad es utilizada por otras tecnologías. Es lógico, por tanto, considerar las necesidades químicas de algunas de las industrias más importantes del mundo antiguo. De esta forma trataremos primero de las industrias que satisfacían las necesidades básicas del hombre: comida, albergue y vestido, y más tarde las que cubrían las necesidades de asentamientos permanentes y cada vez más complicados.

En la etapa en que la búsqueda de comida constituía la ocupación fundamental del hombre, los procesos químicos tenían poca importancia, constituyendo la única excepción notable el uso del fuego. Este merece una breve mención, ya que la combustión es un proceso químico de combinación con oxígeno, habiendo sido el esclarecimiento de este simple hecho uno de los grandes descubrimientos de finales del siglo XVIII. El hombre primitivo probablemente se sirvió por primera vez del fuego utilizando los incendios naturales, pero el conocimiento de su obtención voluntaria data de una fecha muy temprana (p. 10): sin embargo, los métodos químicos para encender fuego, ejemplificados en la cerilla (p. 806), son relativamente modernos. Se supone que el fuego fue usado en primer lugar para calentarse y como protección contra los animales salvajes, pero se debieron dar cuen-

ta en seguida de las posibilidades que ofrecía para hacer la comida más digestiva y sabrosa mediante su cocinado. Esta etapa de la evolución fue importantísima para el tema que tratamos, ya que la cocina fue sin duda la cuna de muchos procesos químicos; además, para cocinar hacían falta vasijas de cerámica, y su vidriado requería conocimientos químicos.

Una consecuencia temprana de la costumbre de cocinar la comida, especialmente la carne, fue la demanda creciente de sal, que aparte de hacer la comida más apetitosa constituye una necesidad biológica. Mientras la carne y el pescado fueron comidos crudos, la necesidad esencial de sal en el hombre estaba cubierta, pero muchos procesos de cocinado eliminan la sal: desaparece al cocer y es arrastrada con los jugos en el asado o la parrilla o sobre el fuego. En los climas cálidos, en especial —y fue en estos climas donde nació la civilización—, se pierde mucha sal al sudar, y la necesidad de recuperarla es proporcionalmente grande. Por estas razones el comercio de la sal es uno de los más antiguos del mundo.

Afortunadamente la sal existe en abundancia, aunque no en todas partes. Siempre se puede obtener cerca del mar, mediante la evaporación del agua del mar en lagos artificiales poco profundos o salinas, aunque este proceso sólo se verifica rápidamente cuando el sol proporciona mucho calor y el trazado de la costa es apropiado. En el interior son frecuentes los manantiales salinos, cuya agua se puede tratar de forma similar. Además, existen yacimientos de sal gema, residuos de antiguos mares, en los que se pueden excavar minas: se explotaron minas de sal en Hallstatt (Austria) y en España durante por lo menos el primer milenio a.C. También se utilizaba ocasionalmente la ceniza de plantas ricas en sal, como el salicor. Al contrario que otros productos químicos utilizados en tiempos antiguos, la sal era casi siempre muy pura, aunque algunas veces debió de estar contaminada con impurezas térreas.

Aunque el primer uso importante de la sal fue el

de sazonar la comida, se utilizó también en tiempos remotos para conservar la carne y el pescado. Esto está íntimamente ligado —aunque es dudoso si como causa o como efecto— con la intensa preocupación egipcia por la preservación del cuerpo después de la muerte: la sal se utilizó algunas veces para este fin, aunque por razones religiosas se prefería el natrón (una forma impura de la sosa) (fig. 123). La producción de natrón, procedente de tres fuentes naturales en Egipto, especialmente de Wadi Natrun, fue un monopolio estatal en tiempos de los Tolomeos: se exportó a Europa hasta el siglo XIX (p. 775).

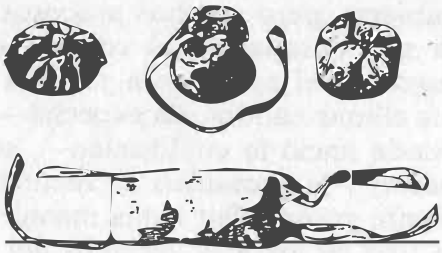


Fig. 123. Bolsas de natrón y de barcia utilizadas en el embalsamamiento de Tutânkhamón. Alrededor del año 1350 a. C.

Mientras que el asado a la parrilla y al fuego fue posible en cuanto se dominó este último, la ebullición tuvo que esperar a que hubiese vasijas que soportaran el calor del fuego; ya hemos tratado de su evolución en otro capítulo: en el contexto presente sólo necesitamos recordar que el proceso del vidriado en cerámica, especialmente la producción de esmaltes de color, dependía de la disponibilidad de un considerable surtido de productos químicos. En Mesopotamia se practicaba una forma de vidriado a la sal, y unas cuentas encontradas en Ur parece ser que estaban vidriadas con sosa. Los alfareros babilónicos utilizaban óxido de plomo para hacer vidriados, y fueron usados compuestos naturales de cobalto para producir una coloración azul. En el segundo milenio a.C. se hacía en Egipto un lapislázuli artificial, calentando arena, yeso, sosa y malaquita (mineral de cobre), que se utilizaba mucho como esmalte. Los alfa-

reros egipcios utilizaron el óxido de hierro natural para hacer esmaltes rojos y negros.

Los procesos de fermentación —de gran importancia en la industria química moderna— tuvieron también su origen en la preparación de bebidas alcohólicas mediante la fermentación de azúcar con levadura. Aunque los alquimistas alejandrinos conocían los procesos de destilación (fig. 124), es dudoso que existieran aparatos lo suficientemente avanzados como para conseguir alcohol puro o casi puro antes del

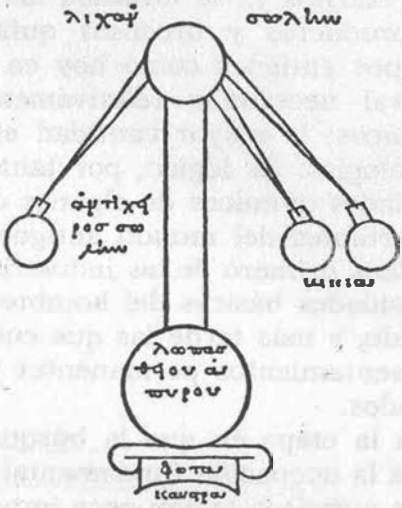


Fig. 124. Alambique griego de alquimia, con tres recipientes.

siglo XII. En el antiguo Egipto se sabía que la fermentación podía llegar más allá, produciendo vinagre: químicamente, esto implica la oxidación del alcohol transformándose en ácido acético. Aparte de su uso culinario, el vinagre era importante al ser el ácido más fuerte de que se disponía en el mundo antiguo: entre sus usos figura la fabricación de plomo blanco.

Las necesidades de la cocina incluían no sólo productos, sino también instrumentos químicos. Por ejemplo, algunas de las manos de almirez y algunos de los morteros utilizados para machacar el grano y las semillas en Sumer no se pueden virtualmente

distinguir no sólo de sus semejantes medievales, sino incluso de los que se pueden ver en los modernos laboratorios químicos. El colador, un instrumento simple y útil para separar sólidos de líquidos, data del tercer milenio a.C. por lo menos; el filtrado a través de una tela como medio de separar sólidos de grano más fino se cita en un texto médico del 2200 a.C. El cedazo era también utilizado por los sumerios y es todavía una pieza normal del instrumental químico. Los hogares y los hornos industriales derivaron seguramente de los primitivos utilizados para asar o cocinar, o para proporcionar calor con fines domésticos. El crisol, que en un principio fue de cerámica y después algunas veces de metal, derivó seguramente de un cacharro de cocina. Un posible ejemplo de este proceso a la inversa, es decir, de la industria química a la cocina, es el baño maría: este procedimiento, que permite mantener el contenido de una vasija a la temperatura del agua hirviendo durante largos períodos de tiempo, se atribuye a María la Judía, una alquimista del siglo I d.C. probablemente, aunque se la identifica tradicionalmente con Miriam, la hermana de Moisés.

Estas son, en esquema, algunas de las consecuencias químicas derivadas de los cambios introducidos en la manera de alimentarse el hombre. Otras consecuencias de similar importancia derivaron de cambios en otros aspectos de su forma de vida.

El arte de la pintura data de mucho antes de que existieran testimonios escritos, y tanto Europa como Africa ofrecen numerosos ejemplos de arte prehistórico. Los pigmentos naturales, mezclados generalmente con agua en vez de con aceite, ofrecían una paleta de colores razonablemente extensa: el negro se producía con hollín o pirolusita (dióxido de manganeso), el rojo con óxido de hierro y el amarillo con carbonato natural de hierro. En tiempos de los antiguos imperios, la decoración de las casas, y más particularmente de los templos y las tumbas, constituía una práctica común: el hecho de que casi todos los ejem-

plos de que disponemos vengan de Egipto es simplemente una consecuencia de su clima, que favorece de forma particular la conservación. Se utilizaba una gran variedad de pigmentos (fig. 125), pero al igual que en las pinturas de las cuevas, estaban diluidos en una base acuosa, no en aceite: a la pintura se le solía dar una consistencia viscosa con la adición de sustancias tales como clara de huevo, goma o miel. Los pigmentos utilizados incluían el ocre, desde el rojo al amarillo; el minio; el oropimente (sulfuro de arsénico, de color amarillo); importados de Persia y otros países: la malaquita y la crisocola (silicato de cobre de color verde). La preparación de algunos de estos pigmentos, especialmente en la forma de polvo

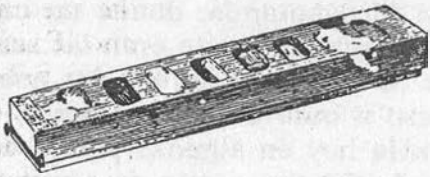


Fig. 125. Paleta egipcia de pintor. Alrededor del año 1500 a. C.

necesaria para la pintura, habría sido imposible sin tener considerables conocimientos de química: así, el minio se obtenía calentando plomo con carbonato básico de plomo, el cual a su vez se obtenía probablemente añadiendo natrón a una solución de sal de plomo. Cuando la escritura se convirtió en algo corriente, una parte importante de los pigmentos se utilizaba para la fabricación de tinta, que era comúnmente una mezcla de hollín, goma y agua.

El enlucido de las paredes se introdujo en fecha temprana y se hacía calcinando en hornos la piedra caliza o el yeso para que expulsaran el dióxido de carbono: el horno de cal mesopotámico data, como mínimo, del año 2500 a.C. Para las paredes que iban a ser decoradas se prefería un enlucido de yeso (que algunas veces contenía un poco de cal): la mezcla se preparaba calcinando yeso (sulfato de calcio hidratado), del que existían varios yacimientos naturales,

especialmente en El Fayún. La madera también se enlucía con yeso a menudo antes de pintarla.

Con el progreso de la civilización aumentó también la demanda de iluminación artificial. Las lámparas primitivas utilizadas por el hombre del Paleolítico consistían en un recipiente abierto de piedra que contenía grasa animal y una mecha confeccionada probablemente de hierba o musgo seco y retorcido. Más tarde se hicieron lámparas de metal y cerámica tomando como modelo, de forma evidente, las conchas marinas que se utilizaban para el mismo fin. El aceite era probablemente el mismo que se usaba para cocinar, aunque mezclado con un poco de sal para que dieran una llama más amarilla y luminosa. En Egipto se utilizaba probablemente aceite de oliva; en Mesopotamia, donde no crecían olivos, la fuente principal de aceite eran las semillas de sésamo. Existe la evidencia de que los asirios utilizaban un proceso a base de agua caliente, similar al utilizado todavía hoy en algunas partes de la India y de Africa, para obtener aceite de sésamo de mejor calidad. La semilla se machacaba primero y luego se trataba con agua hirviendo; cuando el aceite subía a la superficie se espumaba; el agua restante era trasladada a una vasija especial, conocida más tarde con el nombre de *separatorium*, provista de una salida en uno de los lados de manera que el aceite pudiera escapar del residuo acuoso. Este método de separación de dos líquidos inmiscibles se utiliza todavía mucho en la industria química.

LA QUIMICA Y LA INDUSTRIA TEXTIL

Aunque las necesidades de alojamiento y preparación de comida tuvieron una influencia importante en el desarrollo primitivo de los procesos químicos, la demanda de vestido constituyó su más poderoso estímulo. La industria química y la textil están muy relacionadas. El origen del jabón (en la acepción

química de grasas y aceites saponificados) es incierto, pero no se puede situar con seguridad antes de finales del siglo IV d.C.: sin embargo, ya mucho antes se utilizaron distintos productos limpiadores de un carácter químico diferente, tanto para el tratamiento de telas nuevas como para el lavado. Hasta el final de la Edad Media se utilizó en los batanes esmectita o tierra de batán y una solución alcalina —hecha generalmente de sosa o de orina de animales— (p. 145), aunque el jabón obtenido por ebullición era común en Europa desde hacía mucho tiempo. El proceso básico de la fabricación de jabón consiste en hervir grasas animales o aceites vegetales con un fuerte álcali. El jabón duro se hace utilizando sosa, convertida en sosa cáustica por medio de un tratamiento con cal, pero en la industria textil se prefería el jabón blando, por lo menos después del siglo XII. Esta clase de jabón se fabricaba utilizando potasa cáustica —que se preparaba tratando cenizas de madera con cal— en vez de sosa. El efecto del álcali cáustico en las grasas y aceite es el de liberar glicerina, y ésta, junto con el álcali en exceso, parece que quedaba incorporada en el producto final. Hasta el siglo XVII no se descubrió que se podía separar el jabón añadiendo sal a la mezcla.

Aunque es lógico suponer que la tela más antigua, ya fuera afieltrada o tejida, estaba hecha con fibra sin tratar, quizá blanqueada al sol, la práctica del tinte se remonta a tiempos remotos, y los testimonios más antiguos prueban que ya entonces era un arte complejo que se apoyaba mucho en procesos químicos. Hasta hace poco tiempo, todos los tintes casi sin excepción eran de origen vegetal o animal, pero a pesar de esta limitación se disponía de un amplio espectro de colores, aunque algunos eran de producción complicada y cara. No obstante, antes de considerar el proceso del tinte en sí mismo es necesario considerar la preparación preliminar de la fibra. Desde tiempos remotos los tintoreros sabían que la tela tomaría los colores mucho más intensa y permanente-

mente si se la trataba primero con lo que ahora sabemos son sales de aluminio: las más importantes de estas sales, llamadas mordientes, son los alumbres, que se dan bastante extensamente en la naturaleza. Como los alumbres naturales contienen con frecuencia hierro, que representa un obstáculo para el tinte, su purificación constituyó muy pronto un proceso importante, aunque sea incierto de qué forma y hasta qué punto se hacía esta purificación en los tiempos antiguos. La teoría más probable es que se hacía a gran escala por medio de procesos de cristalización.

Los griegos y los romanos utilizaban un alumbre de potasio, obtenido en ciertas regiones volcánicas, pero en el siglo XIII los escritores árabes describían un método para purificar el sulfato de aluminio natural o alumbre del Yemen. Este proceso implicaba tratar la solución de alumbre con orina de caballo —una cómoda fuente para la obtención de amoniaco— y concentrarla mediante ebullición hasta que el alumbre de amoniaco cristalizara al enfriarla. Otro mineral (la alunita) se explotaba en gran escala a mediados del siglo XV para cubrir las necesidades de la creciente industria textil: la alunita (sulfato potásico de aluminio) se purificaba mediante su cristalización en agua.

Hasta principios del siglo XV los yacimientos más importantes de alumbres estaban en el Oriente Próximo y las islas griegas, pero las invasiones turcas, y especialmente la caída de Constantinopla en 1453, cortaron en gran parte el abastecimiento. Por tanto fue una suerte que se encontraran poco después grandes yacimientos en Tolfa, Italia, los cuales constituyeron durante siglos la fuente más importante: los intentos de convertir el alumbre en un lucrativo monopolio papal no tuvieron éxito.

El tinte se hacía en distintas etapas de la manufactura textil. En el caso de la lana a veces se hacía, como en Mesopotamia, incluso antes de haber sido esquilada o arrancada del animal. Si se iban a hacer tejidos labrados había que teñir el hilo de varios co-

lores antes de tejerlo. No obstante, los tejidos se tenían por lo general en grandes tinas (fig. 126). Incluso entonces, sin embargo, se podían obtener dibujos estampándolos encima con una solución de mordiente: de esta forma algunos tintes se fijaban

Fig. 126. Tiñendo tela con glasto. De un manuscrito francés del siglo XV.

firmemente en la parte tratada de la tela pero podían hacerse desaparecer con facilidad del resto de la misma (fig. 127).

Los tintes de origen animal y vegetal proporcionaban una amplia gama de colores. Quizá el más conocido de los tintes antiguos sea el añil: se derivaba del

Fig. 127. Estampado sobre una tela obtenido con alumbre. De un manuscrito francés del siglo XIII.

índigo, planta que se cultivaba extensamente en la India, o del glasto, que crecía por toda Europa. El método de preparación era parecido en ambos casos. La planta se machacaba dentro del agua y se la dejaba fermentar, apareciendo entonces el característico color azul. Pasado un cierto tiempo, el añil precipitaba como indigotina insoluble, que se recogía y se secaba (fig. 128). Para teñir, la indigotina se convertía en solución —por ejemplo, tratándola con miel y cal— y se sumergía la tela en ella: el color azul, producto de la oxidación, aparecía cuando el material así tratado se exponía al aire para secarlo. El glasto no es tan buen tinte como el añil, y llegó a ser menos popular a partir del siglo XVI, cuando el comercio con la India se estableció firmemente. La famosa púrpura de Tiro (p. 133), aunque obtenida de una fuente totalmente distinta, está muy relacionada químicamente con el añil. Pero era fabulosamente cara y además el secreto de su fabricación se perdió tras la caída de Bizancio; por ello, la púrpura se obtenía normalmente combinando tintes rojos y azules.

Fig. 128. Mercaderes vendiendo bolas de glasto preparado. Representados en la estatuaria francesa del siglo XIII.

Los rojos se obtenían a partir de la rubia —cultivada cerca de Roma en los tiempos clásicos, luego en gran parte de los Países Bajos y más tarde en los alrededores de Aviñón particularmente, donde Colbert estableció su cultivo en 1666— o de la urchilla, que se obtenía de líquenes de las costas mediterráneas. El nombre de la iglesia de St. John Maddermarket (San Juan del Mercado de Rubia) del siglo XV, en Norwich, es testimonio de la importancia de la planta de rubia como fuente del carmesí y de otros tintes. Algunos rojos de más permanencia eran de origen animal, extraídos primero de ciertos insectos parásitos de plantas europeas y más tarde de la cochinilla del Nuevo Mundo. Los escarlatas de más calidad no se obtuvieron hasta el descubrimiento por el holandés Cornelis Drebbel de la utilización de sales de estaño como mordientes, a principios del siglo XVII. Los tintes amarillos más importantes se derivaban de la gualda, del alazor o del fustete. El verde se obtenía combinando una de estas plantas con el glasto o el índigo. Para el negro se utilizaba una mezcla de vitriolo verde (sulfato de hierro) y extracto de bugallas de roble: la combinación de los dos produce tanato de hierro, que es de un negro intenso.

LA FABRICACION DE LA POLVORA

Con respecto a los orígenes de los tres ácidos principales de la industria química moderna —sulfúrico, clorhídrico y nítrico— podemos decir que el ácido sulfúrico, quizá el más importante de todos los productos químicos modernos, parece haber sido desconocido hasta principios del siglo XVI, en que se fabricó en Nordhausen mediante la destilación seca de vitriolo verde o azul (sulfato de hierro o de cobre). No tuvo ninguna importancia industrial hasta el siglo XVII, el mismo siglo en que se identificó en forma clara el ácido clorhídrico. El ácido nítrico, que se obtenía comúnmente destilando salitre (ni-

trato potásico) con vitriolo, fue descrito por Yabir, alquimista árabe del siglo VIII. Tenía importancia industrial para separar del oro grandes cantidades de plata, que se disuelve en él. Yabir sabía que la adición al ácido nítrico de sal amónica (cloruro de amonio, del que se dice que se sacó por primera vez de los establos de camellos cercanos al templo egipcio de Júpiter Amón) permite disolver oro, hecho de notable importancia para la metalurgia.

Mucho más importante que el ácido nítrico, en el período de que ahora nos estamos ocupando, es el salitre (su sal potásica), ya que es —junto con el azufre y el carbón vegetal— un ingrediente esencial de la pólvora. Se ha tratado en otro lugar del desarrollo de las armas de fuego (p. 216), pero aquí debemos considerar brevemente el desarrollo de los explosivos que requerían. La utilización de mezclas altamente inflamables en la guerra fue corriente en Europa desde por lo menos el año 500 a.C., y en China con seguridad desde el siglo X d.C. y probablemente desde mucho antes; cuando las catapultas y otros medios mecánicos de disparar grandes proyectiles llegaron a ser utilizados masivamente, estas mezclas se hicieron cada vez más efectivas. El famoso «fuego griego», que desempeñó un papel tan importante en la defensa del Imperio bizantino a partir del siglo VII, no tenía una fórmula concreta, pero su ingrediente secreto esencial parece haber sido la nafta (p. 749), que es altamente inflamable. Parece ser que en el siglo XI los chinos ya sabían que las propiedades incendiarias de tales mezclas podían aumentarse en gran medida con la adición de salitre, en razón a que esta sustancia cuando se calienta libera oxígeno. Es dudoso que este conocimiento inspirara las fórmulas para la fabricación de pólvora que fueron corrientes más tarde en Occidente, pero es seguro que existían unas 1.300 mezclas diferentes de salitre, azufre y carbón vegetal que se preparaban para su uso en artillería y, más tarde, en armas pequeñas. De estos tres ingredien-

tes, la preparación de los dos últimos presentaba poca dificultad. El carbón vegetal se preparaba como combustible desde los tiempos antiguos, y el azufre se da bastante puro de forma natural, por ejemplo, en Sicilia; si era preciso purificarlo más se hacía por destilación. Además, el azufre había llegado a ocupar un lugar de excepcional importancia mística en las operaciones de los alquimistas, que estaban, por tanto, muy familiarizados con sus propiedades.

El salitre, sin embargo, presentaba mucha más dificultad, ya que no existía disponible en estado puro. La fuente común era la tierra proveniente de establos, pocilgas, etc. (fig. 129), donde se producía debido a la acción de las bacterias sobre el estiércol.

Fig. 129. Fábrica alemana de salitre. El obrero que figura en primer plano está extrayendo salitre de los montones formados por barreduras de establos de ovejas, sustancias vegetales en estado de descomposición y grava. Año 1580.

En general, todas las sales solubles se extraían de la tierra con agua hirviendo, algunas veces con la adición de potasa o cal, e hirviendo la solución resultante hasta el punto de concentración en que la sal común, la más dañina de las impurezas, se precipitaba. Se quitaba entonces la sal y se dejaba enfriar la solución, precipitándose entonces cristales de salitre bastante puro (fig. 130).

La mezcla de los tres ingredientes era un proceso difícil y peligroso. Era difícil porque se necesitaba una mezcla uniforme y correcta para obtener buenos resultados, y peligroso porque el calor generado durante el proceso podía causar una explosión. Al

Fig. 130. Cristalizando salitre. Alemania, año 1580.

principio, la mezcla la hacían los artilleros en el campo de batalla, pero pronto se establecieron molinos de pólvora: los más antiguos eran manuales, pero en el siglo XVII ya se había introducido la energía hidráulica (fig. 131). Durante el proceso de mezcla la pólvora se mantenía húmeda para disminuir el riesgo de explosión. Originalmente se utilizaba siempre una pólvora muy fina o polvorín, pero más tarde éste se reservó para cebo y la carga explosiva principal se preparaba en los molinos en forma granular, haciendo pasar la pólvora todavía húmeda por cedazos. Además de ser un ingrediente esencial de la pólvora, el salitre servía para otro fin en las primeras armas de fuego: la mecha de combustión lenta utilizada para prender fuego a la carga de los cañones o los fusiles de llave de mecha consistía en un bramante recio impregnado con salitre para que se quemara lenta y uniformemente y no se apagara con el viento.

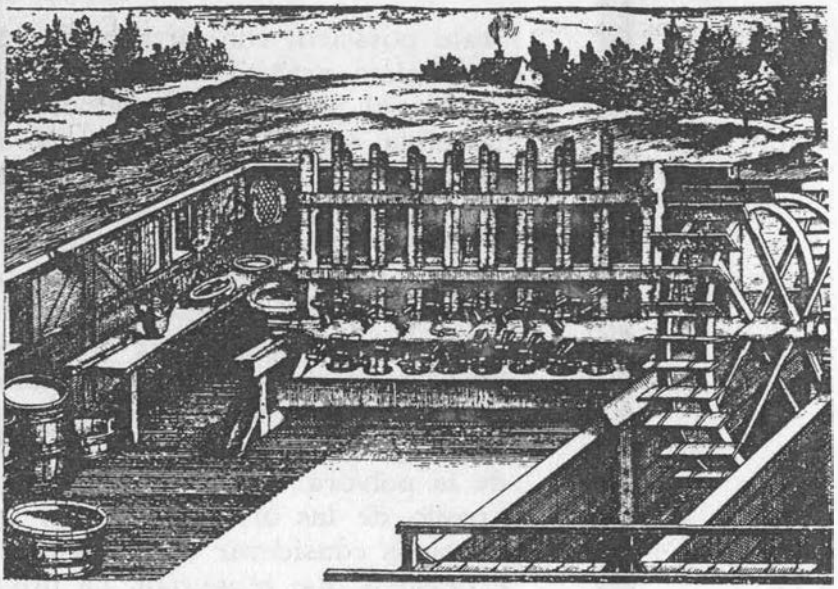


Fig. 131. Molino de pólvora movido por agua. Alemania, año 1676.

LOS ALQUIMISTAS Y LOS YATROQUIMICOS

Ya nos hemos referido al trabajo de los alquimistas, que vino a parar en la acumulación de muchos conocimientos químicos de tipo empírico. De los dos fines principales de los alquimistas —la transmutación de metales viles en oro y el descubrimiento del elixir de la vida— el segundo reclama ahora nuestra atención. Aunque la búsqueda del elixir de la vida estaba destinada al fracaso, no fue en absoluto infructuosa, ya que desde los tiempos antiguos la preparación de medicamentos ha sido una importante aplicación de los conocimientos químicos. La palabra alquimia es de origen árabe, y es posible que derive del nombre *Chem* que los antiguos egipcios daban a su país: sea esto cierto o no, lo que es seguro es que existía una floreciente escuela de alquimia en Alejandría en el siglo II a.C. Aunque gran parte del trabajo que realizaban era especulativo o

erróneo, los extensos escritos de Zósimo de Panópolis prueban que sabían cómo llevar a cabo un cierto número de operaciones claramente definidas, como la extracción de mercurio a partir del cinabrio, de arsénico del rejalgar y de plomo blanco del litargirio. No es bien conocido hasta qué punto eran utilizadas en medicina estas sustancias minerales, pero Dioscórides, en su obra *De materia medica*, del siglo I d.C., hace una lista de algunas, incluidas el cardenillo y el sulfato de cobre. Un texto musulmán del siglo XI cita muchas más, pero el florecimiento completo de la química médica se dio a comienzos del siglo XVI a partir del trabajo de Paracelso de Basilea, que enseñó que el fin más importante de la química debía ser producir medicamentos para paliar el sufrimiento humano. Al crecer la atención prestada a la prescripción de medicamentos, se produjo inevitablemente una demanda creciente de su fabricación. Aunque se sobreestima con frecuencia la importancia de la escuela paracelsiana —el propio Paracelso desplegó una extraordinaria combinación de ampulosidad, charlatanismo y verdadera ciencia—, lo cierto es que logró que la química se convirtiera en una parte reconocida de la preparación de los estudiantes de medicina. Hasta el siglo XIX sólo las facultades de medicina ofrecían enseñanzas serias de química: existió una cátedra de esta materia en Cambridge en el siglo XVIII, aunque su titular raramente aparecía por la Universidad, y hubo también un profesor de química sin sueldo en Oxford. En Inglaterra no existió una organización sistemática de la química como disciplina independiente hasta que se fundó el Royal College of Chemistry en 1845.

EL COMIENZO DE LA QUIMICA MODERNA

La alquimia floreció particularmente a partir del siglo IX hasta el XVII —el *Cannon's yeoman's tale* de Chaucer y la comedia de Jonson *The alchemist*

ofrecen interesantes descripciones de esta actividad— y proporcionó la base para la ciencia sobre la cual se basa la moderna industria química. Antes de continuar podemos tratar, sólo brevemente, de la transición: la tecnología química durante y después de la revolución industrial se examina en el capítulo 18. Aunque ya en el siglo XIII se vislumbró el cambio debido a los trabajos de Roger Bacon, con su insistencia en la importancia del experimento frente a la especulación, se considera, y con razón, a Robert Boyle como «padre de la química». A él se debe el reconocimiento claro de un elemento como la forma más simple de materia, esto es, lo que no se puede descomponer en otras sustancias. Igualmente fundamental fue el descubrimiento, hacia el final del siglo XVIII, de que la materia es indestructible aunque sea sujeto de cambios químicos: debemos a Lavoisier la decisiva enunciación de la ley de conservación de la materia. Esta generalización, aparentemente simple, fue de la mayor importancia, aunque necesitó del genio de John Dalton —quien publicó por primera vez en 1808 una formulación de su teoría atómica— para que se reconociera su significación completa. Aunque es una excesiva simplificación decir que los tres principios fundamentales de la química moderna son el reconocimiento por parte de Boyle de la verdadera naturaleza de los elementos, el reconocimiento por parte de Lavoisier de que la materia es indestructible y el reconocimiento por parte de Dalton de que cada elemento está formado por una clase característica de átomos y cada compuesto por una combinación específica de átomos, es difícil sobreestimar la contribución de estos tres genios. No sólo proporcionaron una explicación lógica a la riqueza de conocimientos químicos acumulados a lo largo de muchos siglos, sino que, y mucho más importante, proporcionaron la base para la exploración rápida y sistemática de nuevos y vastos campos de la química.

Estamos, no obstante, sobrepasando nuestra mi-

sión principal, que es examinar la historia de la tecnología química hasta el principio de la revolución industrial. Hemos visto que desde los primeros tiempos los conocimientos químicos han sido esenciales para muchas, se puede decir que para la mayoría, de las industrias que hemos examinado en otros capítulos (por ejemplo, la fabricación de metales, cerámica, vidrio y textiles). Desde los tiempos más remotos hasta casi el principio de la revolución industrial, este conocimiento se acumuló por métodos totalmente empíricos, con escasa teoría que hiciera más fácil la comprensión o que sugiriera fecundas vías de experimentación. Sin embargo, durante la revolución industrial la situación cambió por completo: la química se desprendió de las últimas cadenas de la alquimia y emergió como una ciencia claramente definida. Aunque tardó en aplicar los nuevos conocimientos, la industria química sufrió también una transformación correspondiente *.

* Véase en el capítulo 18 (pp. 775-811) de esta obra el desarrollo de la industria química hasta 1900.

609

D438

73652- DERRY, T. K.
Historia de la tecnología (v.1)

La importancia de los factores tecnológicos en el desarrollo de la sociedad no ha recibido suficiente atención historiográfica, en contraste con la importancia concedida tradicionalmente a la historia política y constitucional o, modernamente, a la historia social y económica. Por ello esta obra resulta singular, tanto en su propósito como en su planteamiento.

Concebida inicialmente como una versión abreviada de una extensa *Historia de la tecnología* publicada por Clarendon Press (Oxford), su planteamiento varía sustancialmente respecto a aquélla. Se ha intentado que la historia del desarrollo tecnológico aparezca estrechamente relacionada, en cada época, con su perspectiva histórica general. Cronológicamente el texto está dividido en tres partes: la primera (vol. 1) abarca hasta 1750 —comienzo de la revolución industrial en Inglaterra—, la segunda (vols. 2 y 3) hasta 1900 y la tercera (vols. 4 y 5) continúa la exposición hasta 1950. La decisión de detenerse en esta fecha se explica por la falta de perspectiva histórica sobre la repercusión de desarrollos tecnológicos posteriores, así como por la complejidad técnica de éstos.

El propósito de la obra es ofrecer una visión sintética del desarrollo de las ramas de la tecnología que han cambiado el curso de la historia, sin omitir por ello los oficios elementales de menor repercusión social. Se ha pretendido que el resultado fuera aceptable tanto para el historiador y el tecnólogo como para el lector común.

BY NC ND

P.V.P. 13,50 €
00006
9 788432 302794